técnica

386 associação dos estudantes do instituto superior técnic
março 1969 revista de engenhar

HELIAÇO

VARÕES DE AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA PARA BETÃO ARMADO TIPO A. 40 («Heliaço» e «SNT 40»)

TENSÕES DE SEGURANÇA

Ra = 2400 kg/cm²
e
Ra = 4000 kg/cm² (SISMOS)

Literatura e Tabelas de Cálculo fornecidas gratuitamente

HELIAÇO, LDA.

R. DE S. JULIÃO, 41, 4.º D. — LISBOA

Tel.: 36 78 17 - 32 37 06 - 36 94 77

REGINA REX

CORRENTES

A·S·A

PARA MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS AMERICANOS

REPRESENTANTES EXCLUSIVOS:

AUTO-LUSITANIA (ALFREDO DUARTE, LDA.)

Avenida da Liberdade, 73-1.º e 2.º, 77 — LISBOA-2

UNIÃO ELÉCTRICA PORTUGUESA

S. A. R. L.

SEDE

Rua de Alexandre Herculano, 244 — PORTO

TELEFONES: 2 76 76 / 77 / 78 / 79 — Est. 90

DELEGAÇÃO

Rua Rosa Araújo, 35 — LISBOA

TEL.: 73 11 81/82/83/84/85/86 - 73 33 33 - 48 49 1

ELECTRICIDADE DO LINDOSO
E DAS CENTRAIS DO FREIXO
E DA CACHOFARRA

A UNIÃO ELÉCTRICA PORTUGUESA distribui, pela mais extensa rede de alta tensão em Portugal (cerca de 2 500 km), energia eléctrica em 70 concelhos, nos distritos de VIANA DO CASTELO, BRAGA, PORTO, AVEIRO, COIMBRA, VISEU, LEIRIA, SETÚBAL e ÉVORA.

CIMENTO SECIL

SECIL

Fábrica:

Outão — Setúbal

Telef. 228824/5

Escritório:

R. do Comércio, 56-3.º

LISBOA 2

Telef. 328201/2/3

técnica

NÚMERO 386 MARÇO DE 1969 ANO XLIV VOLUME XXXII PUBLICAÇÃO MENSAL

Corpo Redactorial

João M. Pereira
João Soares Alves
Rui Coutinho Torrinha
Silvério de Sousa Mendes

Editor e Proprietário

Associação dos Estudantes do Instituto Superior Técnico

Redacção e Administração

Avenida Rovisco Pais
Telefone 77 54 49
Lisboa 1

Assinaturas

		5 N.os	10 N.os
Continente e Ilhas	—	70$00	130$00
Ultramar, Brasil e Espanha	—	80$00	140$00
Estrangeiro	—	90$00	150$00

Número avulso — 20$00

Não se publica em Agosto e Setembro.

Os artigos assinados são da exclusiva responsabilidade dos seus autores.

Composto e impresso na Tipografia Jorge Fernandes, Lda. — Rua da Cruz dos Poiais 103 — Lisboa

SUMÁRIO

289 *MANUEL ROCHA* — **Dam Foundation measurements.**
Medição de fundações de barragens.

303 *CARLOS MARTINS* — **Número de oscilação e relação analógica.**
Oscillation number and analogical relation.

307 *JANEIRO BORGES* — **O túnel aerodinâmico do Laboratório Nacional de Engenharia Civil.**
The wind tunnel of the «Laboratório Nacional de Engenharia Civil».

315 *SALGADO DE BARROS* — **Estabelecimento de uma relação entre a temperatura de combustão adiabática de um Fuel-Oil de composição ideal e o excesso de ar presente.**
Settling of an expression that relates the temperatures of adiabatic combustion of an ideal composition Fuel-Oil and the excess of present air.

325 *CERVEIRA DO AMARAL* — **Dimensionamento de tirantes prismáticos de betão armado.**
Dimensioning of prismatic tie-rods of reinforced concrete.

335 *MARIA H. MATOS* — **«Industrial Design».**

337 **Do mundo técnico.**
Tubos flexíveis para vapor saturado e sobreaquecido — Nova instalação central de relógio a cristal do tipo UZ 1 M — Novas linhas de retardamento «Silver Star» com contactos em 10 pólos

339 **Bibliografia**

CAPA: Locomotiva Diesel Eléctrica "English Electric" de 1.375 CV Bo-Bo, em serviço na C. P.

ÍNDICE ALFABETICO DOS ANUNCIANTES

	Pág.
A. Johnson & Co (Portugal), Ltd.	XXIX
Aguiar & Melo	XXVIII
Asea Eléctrica	V e XXXI
Aarldite	XXXII
Auto-Lusitâna	2.ª da capa
Centro de Cooperação dos Industriais de Máquinas-Ferramentas	XXV
Centro Técnico Hospitalar	XXIV
Cimento Secil	2.ª da capa
Companhia de Cimentos Brancos	VI
Construções Técnicas	XVII
Dial	XXI
Electrotécnicos Reunidos	XII
Electro-Arco, Lda.	II
Empresa de Cimentos de Leiria	XXVII
Empresa Electro Cerâmica	XXXIII
Empresa de Produtos Asfálticos	X
Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Lda.	3.ª da capa
Empresa Técnica de Equipamentos Eléctricos	XI
Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações	XVI
Fábrica Portugal	XXVI
Fanafel	XVI
Fundações Franki, Lda.	I
Frapil	XV
Guedes & Almeida, Lda.	VIII e XX
Harker Sumner	XXII
Heliaço	2.ª da capa
INA	XXXIV
I. S. T.	VI
Isola	XX
Jayme da Costa, Lda.	XIX
Johann Keller	V
J. F. Azevedo e Silva	IV
J. J. Silva & Irmão	V
J. Roma	VII
MAGUE	XIII
Mendes de Almeida, Lda.	XXIII
Novobra, Lda.	XXV
Nucleon	XXXIV
Prisma	XXI
Química Hoechst	XXXIII
Romar	XIV
Siemens	4.ª da capa
Soc. Industrial Metalúrgica	XXV
Sociedade Portuguesa Cavan	VI
Somague	XXXII
Sondagens e Fundações A. Cavaco	II
Sondagens Ródio, Lda.	VII
Sopecate	II
Standard Eléctrica	IX
TUDOR	XXI
União Eléctrica Portuguesa	2.ª da capa
Wild Portugal, Lda.	III

Oficinas VOLVO da Auto Sueca, Lda.
PORTO

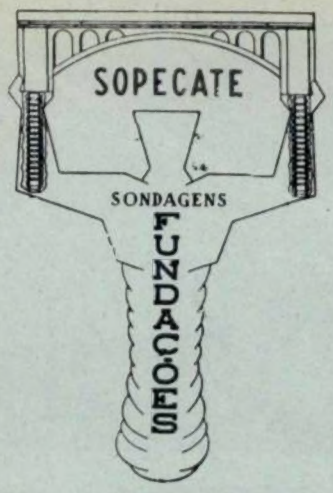
Assente sobre Estacas FRANKI

FUNDAÇÕES FRANKI L.DA

RUA BRAAMCAMP, 13-3.º — LISBOA 1 — TEL. P. P. C. 53 41 12/3/4 — ENDEREÇO TELEGRÁFICO: FRANKI — LISBOA

PRÉDIO SANTOS GIL, 6.º ANDAR — SALA 10 — TEL. 9 11 67 — CAIXA POSTAL 1397

ENDEREÇO TELEGRÁFICO: FRANKI—LOURENÇO MARQUES



sopecate

sondagens - fundações

ESCRITÓRIO: RUA DO ARSENAL 146 2.º TELEFONES 3 40 10 - 32 02 08 LISBOA

• ESTUDOS, PESQUISAS E CAPTAÇÕES DE ÁGUA

• SONDAGENS

• REBAIXAMENTO DE NÍVEIS AQUÍFEROS

• FUNDAÇÕES

SONDAGENS E FUNDAÇÕES A. CAVACO, LDA.

R. RODRIGO DA FONSECA, 62, R/C ESQ. — LISBOA - 1

TELEF. 56 11 71/72/73

ELECTRO-ARCO, L.DA

ELÉCTRODOS ✦ POSTOS ✦ ACESSÓRIOS

PARA A SOLDADURA ELÉCTRICA

*

MATERIAL APROVADO PELOS

LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING

BUREAU VERITAS

GERMANISCHER LLOYD

—

LISBOA

Rua Silva Carvalho, 239

Tels. 68 36 49 - 68 48 93

FÁBRICA E LABORATÓRIOS

Venda Nova — Amadora

Tels. 97 06 13 - 97 17 33

PORTO

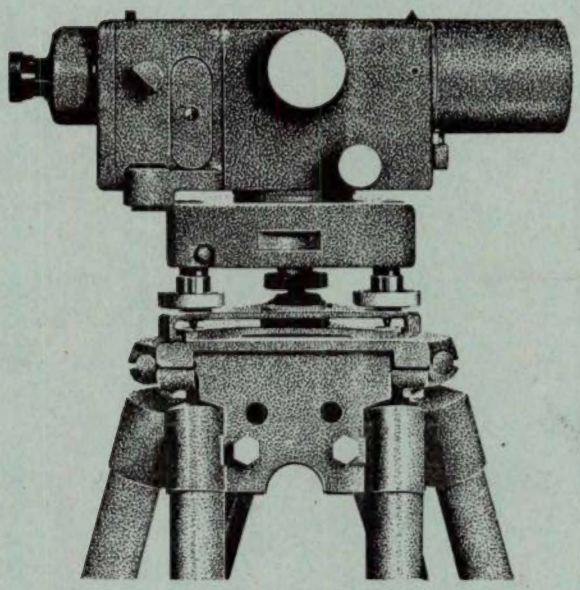
Rua do Bolhão, 216

Tel. 2 12 77 - 39 44 73

O novo Nível automático de engenheiro

WILD NAK 2

com círculo horizontal



WILD
HEERBRUGG

Para nivelamentos de média e grande precisão; com micrómetro de lâmina de faces plano-paralelas para nivelamentos de grande precisão.

Erro médio para 1 Km de nivelamento duplo: ± 1,5 mm

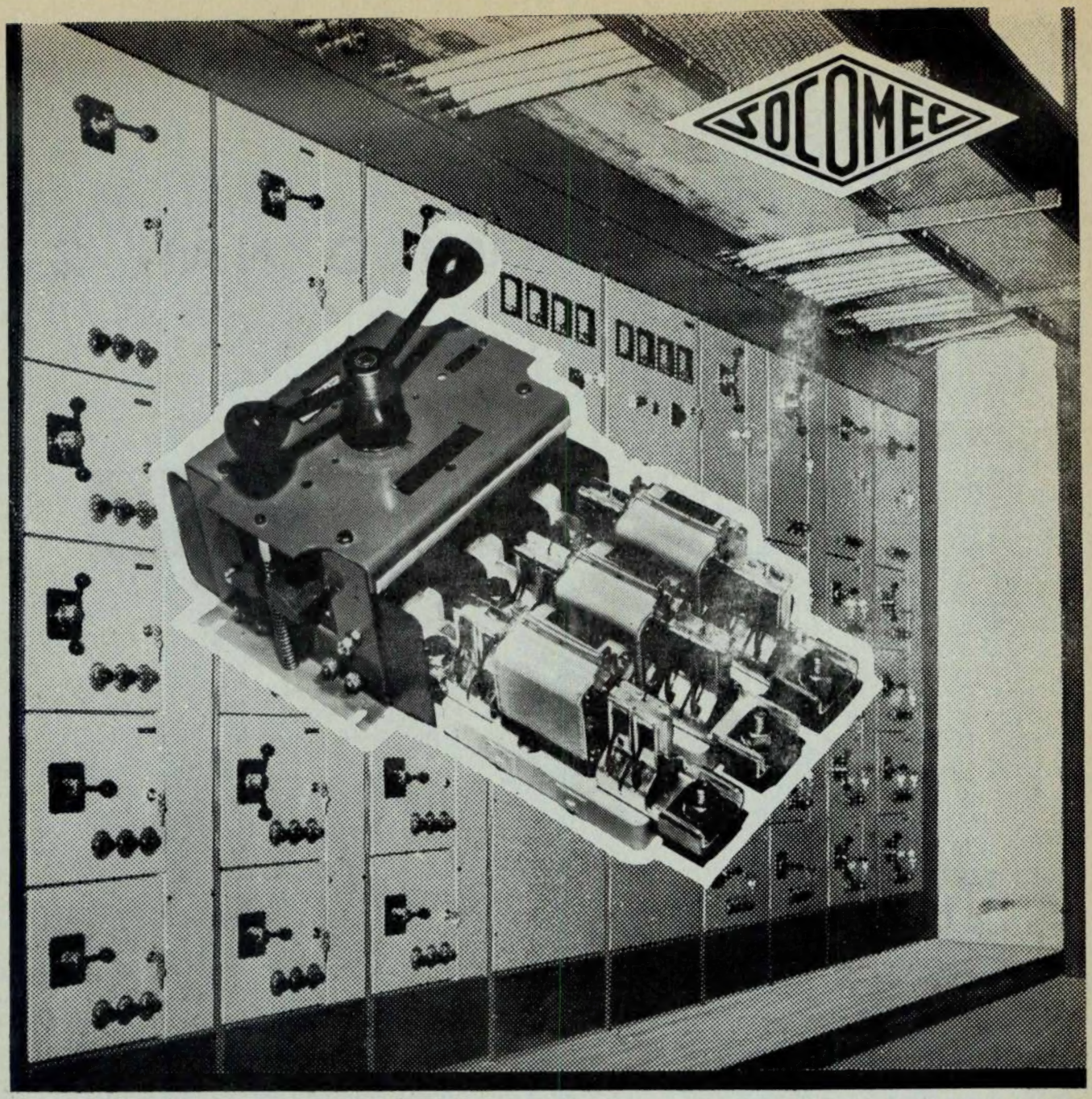
Erro médio para 1 Km de nivelamento duplo com micrómetro: ± 0,4 mm

Luneta de 30 × de aumento com imagem direita de observação

Solicitem catálogo ou demonstração aos representantes exclusivos

WILD PORTUGAL, LDA.

PRAÇA DAS ÁGUAS LIVRES, 8
LISBOA - 2 — TELEFONE 68 91 12



FUSÍVEIS DE A. P. C. — INTERRUPTORES

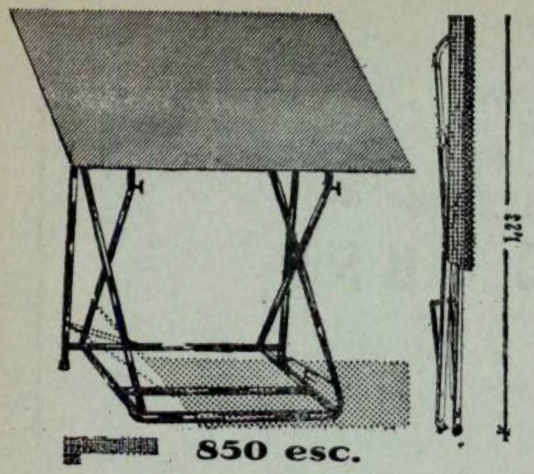
Para qualidade e segurança e simultâneamente facilidade de montagem, interruptores e fusíveis SOCOMEC dimensionados segundo normas internacionais europeias.

Os interruptores SOCOMEC, pela disposição e dimensionamento dos terminais, são a solução ideal para montagem em conjunto com fusíveis normalizados. As ligações entre os fusíveis e os interruptores são directas, dispensando barramentos em condutores isolados intermediários e os cartuchos de ligação fàcilmente acessíveis pela frente ou por trás.

JF

J. F. DE AZEVEDO E SILVA & C.ª L.DA

Rua S. Francisco Sales, 2 **Telef. 654165 · Lisboa-1**



850 esc.

CARACTERÍSTICAS: Tubo de aço, articulado em qualquer posição, várias inclinações, fàcilmente transportável, não ocupa espaço quando fechado, prancheta de 1,20 × 0,80 de madeira, em tela. Pintura de estufa.

Em exposição, outros modelos de madeira e metálicos e todo o material de consumo e equipamento de desenho, escritório e papelaria

Distribuidores exclusivos, em Lisboa, do estirador da ***Fábrica Olaio***

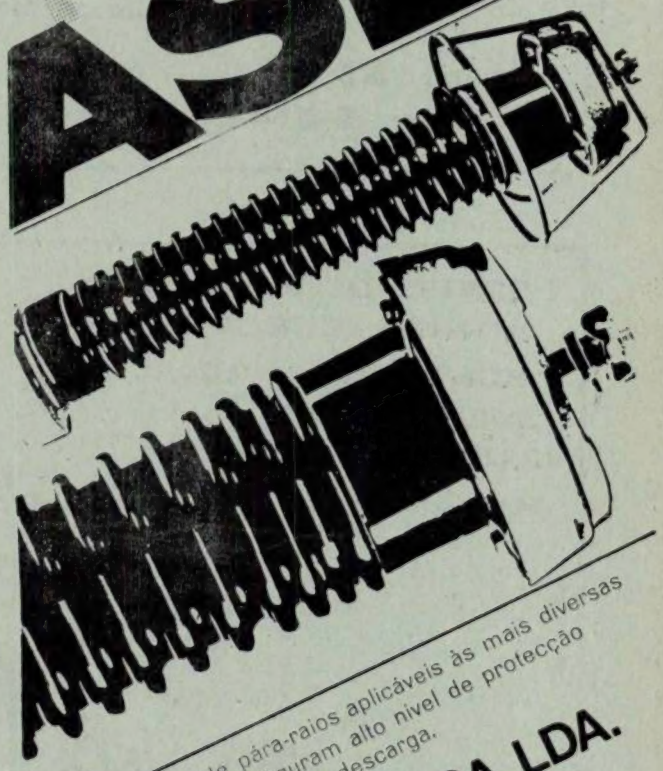
J. J. SILVA & IRMÃO, LDA.

rua silva carvalho 232-b · lisboa · telefone **652750 / 680671**

MARCA · A.E.4

Uma força criadora no domínio da electricidade

Pára-raios ASEA



Diversos tipos de pára-raios aplicáveis às mais diversas instalações que asseguram alto nível de protecção e elevada capacidade de descarga.

ASEA ELÉCTRICA LDA.

Estrada do Prior-Velho
Tel. 2511101 (5 linhas)
SACAVÉM
R. do Campo Alegre, 144
Tel. 67239
PORTO

O EMPREGO DO CIMENTO BRANCO...

permite acabamentos mais perfeitos, mais duradouros e muito mais económicos

Estude a vantagem do emprego do

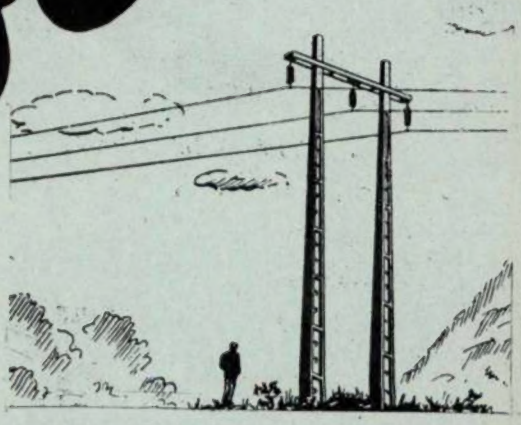
CIMENTO BRANCO LUSO

Consulte os distribuidores gerais

No Sul: **SCIAL** — T. do Corpo Santo, 15 — Telef. 66 61 86 — Lisboa
No Norte: **SCIAL** — R. do Bonjardim, 205 — Telef. 2 5779 — Porto

POSTES DE BETÃO PARA LINHAS ELÉCTRICAS
MOSAICOS E AZULEJOS
COLUNAS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA
MANILHAS PARA ESGOTOS

SOCIEDADE PORTUGUESA
Carvam



RUA D. ESTEFÂNIA, 94-A-LISBOA-1 - TELEF. 47812-50129

• SOLDADURA ELÉCTRICA

• MATERIAL DE PROTECÇÃO

Aparelhagem de medidas eléctricas

- indicadora
- reguladora
- registadora

J. ROMA, L.DA

P. da Figueira, 12, 1.º — LISBOA Tel. 865151

P. do Município, 309-6.º S 3 — PORTO Tel. 0236732

Oficina e Laboratórios do

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

As oficinas pedagógicas do Instituto Superior Técnico, de CARPINTARIA DE MOLDES, de INSTRUMENTOS DE PRECISAO, de ELECTROTÉCNICA, fornecem todo o género de material escolar de demonstração para o ensino técnico. Nos laboratórios de QUÍMICA - ANALÍTICA, FÍSICA INDUSTRIAL E DE MINERALOGIA executam-se análises para o público

Para quaisquer informações, dirigir-se ao secretário da comissão executiva

WABCO

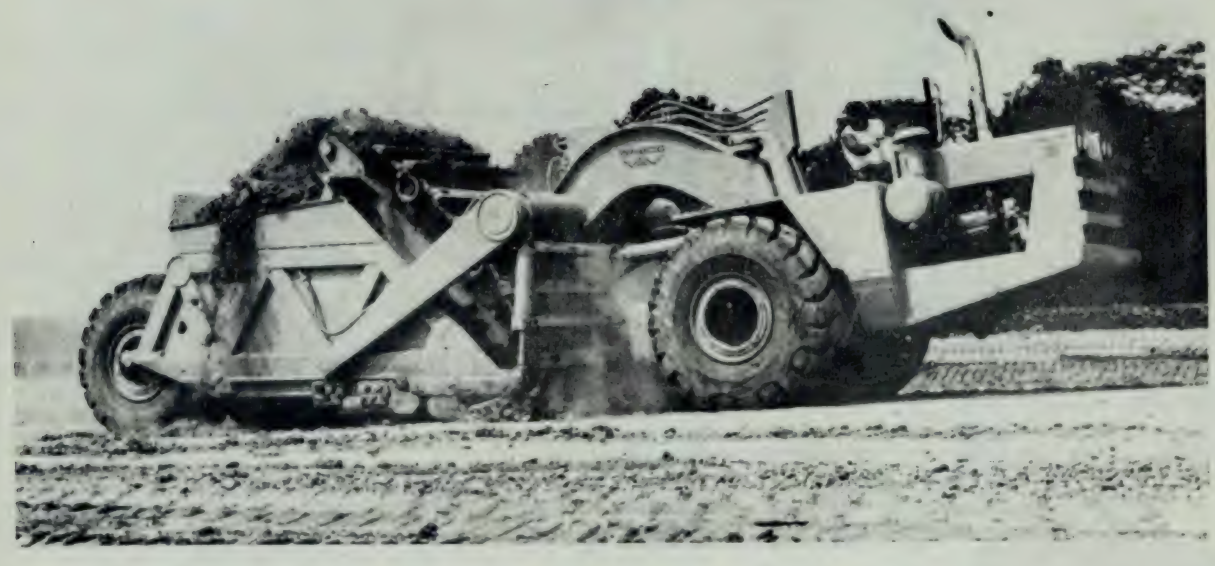
WESTINGHOUSE
AIR BRAKE COMPANY
CONSTRUCTION EQUIPMENT DIVISION
PEORIA, ILLINOIS, U.S.A.

MOTO-SCRAPERS AUTO-CARREGADORES

CAPACIDADE DE 11, 21 E 31 JARDAS CÚBICAS

NÃO NECESSITA DE TRACTOR PARA EMPURRE!
UMA SÓ MÁQUINA... UM SÓ OPERADOR...

Escarifica... Carrega... Transporta... Descarrega... Em terrenos de toda a natureza!



DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO

GUEDES & ALMEIDA LDA.

Rua Áurea, 181-2.º — LISBOA-2 — TELEFS. 32 50 80 e 32 78 45

A STANDARD ELÉCTRICA PROJECTA-SE NO MUNDO

Na vanguarda da indústria das Telecomunicações e Electrónica, a Standard Eléctrica, dimensionada ao âmbito mundial, ocupa uma prestigiosa posição nos mercados estrangeiros. A eficiência de uma administração actualizada, a capacidade técnica dos seus engenheiros e o profissionalismo com que todos os empregados encaram as suas responsabilidades, são valores reais e positivos que, de maneira decisiva, contribuem para o engrandecimento da Standard Eléctrica e da indústria nacional. Associada da International Telephone and Telegraph Corporation, um conjunto mundial com cerca de 200 fábricas localizadas em mais de 60 paises, a Standard Eléctrica fabrica numerosos produtos, desde os minúsculos transistores e circuitos integrados às grandes centrais telefónicas de serviço público, que são exportados para mais de 30 paises entre os quais se destacam: Inglaterra, França, Alemanha, Espanha, Suécia, Africa do Sul, Brasil e Estados Unidos da América do Norte.

Standard Eléctrica

ITT

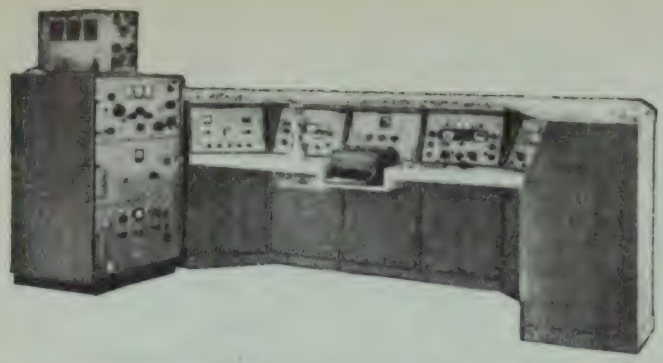
TG

PARA COLAGEM DE TACOS DE MADEIRA USE:

Também próprio para:
impermeabilizar terrenos,
paredes, fundações, etc.

FÁBRICA EM SACAVÉM

RUA FILIPE FOLQUE-10 1º— LISBOA
TELEF. 53 01 56 —TELEG. EPALDA-LISBOA



Comunicações

equipamentos
e sistemas completos

- Cuidadosamente projectados
- Amplamente experimentados
- Completamente integrados

THE TECHNICAL MATERIEL CORPORATION

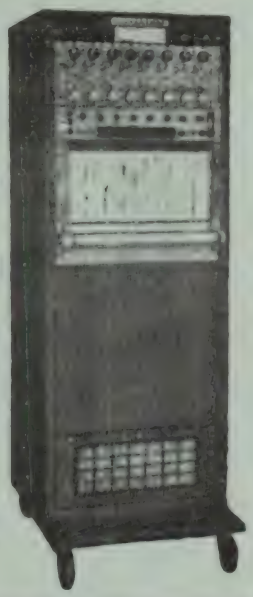
HEWLETT **PACKARD**

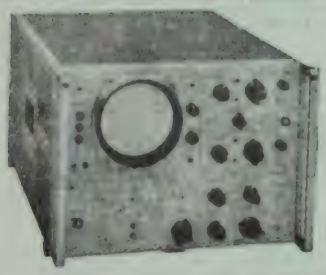
aparelhagem electrónica de medida e registo

Osciloscópios, Oscilógrafos, Voltímetros electrónicos, Geradores de sinal, Contadores electrónicos, Registadores digitais, Fontes de alimentação

Registador digital Dymec

Registador Sanborn

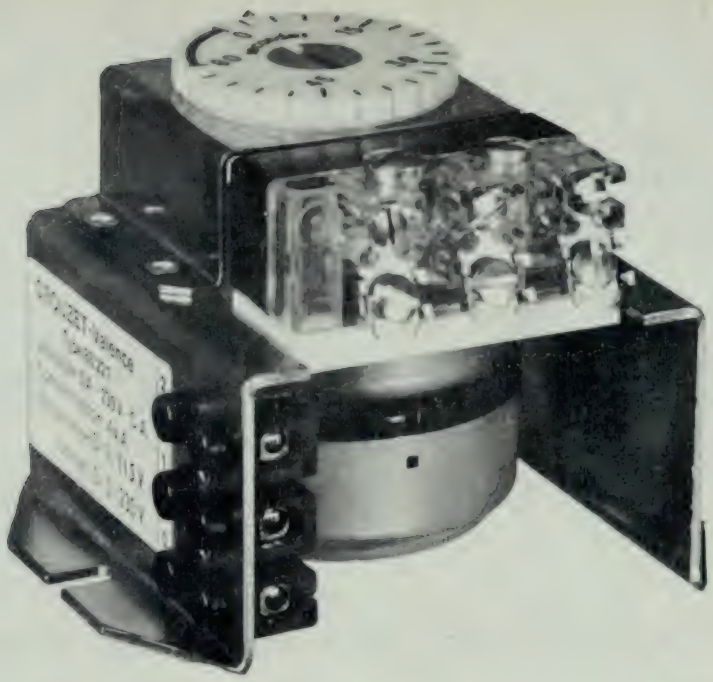




Osciloscópio HP

Contador Electrónico HP

TELECTRA EMPRESA TECNICA DE EQUIPAMENTOS ELECTRICOS, S.A.R.L.



TEMPORIZADOR MINIATURA
CROUZET

O temporizador miniatura Crouzet da série 88 221 é particularmente indicado para aplicações em que o preço e o tamanho são factores importantes.

Apresenta:

- Custo reduzido
- Pequenas dimensões
- Rearme automático
- Gamas de 0,5 a 120 seg.
- Contactos de grande capacidade
- Motor síncrono

ELECTROTÉCNICOS REUNIDOS, LDA.

AV. DUQUE D'AVILA, 66, 3.º TELEF 41161/5

técnica

NUMERO 386 MARÇO DE 1969 ANO XLIV VOLUME XXXI PUBLICAÇÃO MENSAL

C. D. U. 624.131.388 : 627.82

DAM FOUNDATION MEASUREMENTS

by MANUEL ROCHA*

RESUMO

No presente trabalho apresentam-se diversas técnicas desenvolvidas no Laboratório Nacional de Engenharia Civil com vista à observação das fundações de barragens de betão.

Analisa-se a importância da deformabilidade das fundações dos maciços rochosos e descrevem-se novas técnicas para a determinação da deformabilidade mediante a utilização de macacos planos delgados e do dilatómetro.

Descrevem-se os métodos correntemente usados para a determinação da resistência dos maciços rochosos e os métodos de medição de deformações em galerias e fundações durante e após a construção de barragens.

Indicam-se ainda os aperfeiçoamentos introduzidos pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil nos métodos geodésicos para a determinação de deslocamentos verticais.

SYNOPSIS

In this work some techniques are presented which were developed at the National Laboratory of Civil Engineering for observing concrete dam foundations.

The importance of the deformability of rock mass foundations is analysed and new techniques are described for determining deformability by using thin flat jacks and the dilatometer.

Methods are described which are currently used for determining the strength of rock masses as well as those used for measuring deformations in galleries and foundations during and after the construction of dams.

The improvements the National Laboratory of Civil Engineering has made in the geodetic methods for determining vertical displacements are also indicated.

1. INTRODUCTION

I would draw attention in the first place to the importance ascribed to the observation of structures by the Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). In fact I believe that no research institution can efficiently select both the problems to be dealt with and the degree of development of their study, without information as complete as possible on the actual behaviour of structures. In the absence of this information it is impossible to assess the empirical and theoretical knowledge at the disposal of the designer at a given moment, and, consequently, to identify the areas where this knowledge is precarious, from the points of view of safety and economy.

We deal at our Laboratory with measurements in all kinds of civil engineering structures, from dams of different types to bridges, buildings — as regards their structural behaviour, comfort and so on —, harbour and river works, highways and others. According to our experience, the area where observation is most relevant is that of dams and their foundations. This is due not only to safety problems, dramatically brought forward by the numerous serious accidents occurred in recent years, but also to the complex behaviour of these structures and the large sums invested in their construction.

* Director, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
Paper presented to the Short Course in Denver, in 1968.

The subject of this session — dam and foundation measurements — is very extensive, so that only the observation of rock foundations will be dealt with; in fact it is in connexion with the observation of foundation rock masses that major difficulties arise and, furthermore, the corresponding techniques are now in frank evolution.

As a rule the observation of a structure has the following aims: i) to determine the actual properties of the materials in the completed structure, and ii) to determine the behaviour of the structure during and after construction, under loads deliberately applied, in the case of loading tests, or those occurring in the structure throughout its life. The first point, i. e. determination of «in situ» properties, is more important in the present case of the observation of foundations than in the case of structures composed of Man-made materials.

A basic point to be taken into accout in the observation of a structure is the fact that it is impossible — it would even be meaningless — to observe the whole reality; additionally the fact that measurements are usually expensive severely limits observation plans. These have to be prepared so as to attain well-defined aims, the selection of which requires a judicious assessment of the whole set of problems raised by a given structure. This assessment is also indispensable for choosing the extent of the observation plan and the accuracy required for the results.

When debating the problems posed by the observation of dam foundations, one should take into account in the first place that foundations, whether in natural condition or after treatment, must meet the following two conditions: i) their mechanical properties must enable them to withstand with displacements bellow certain values the loads applied by the dam and by the reservoir water; and ii) their permeability must be sufficiently low for seepage losses to be acceptable.

A set of measurements basically important for the design stage is the determination of the values of the mechanical properties and the permeability of the foundation materials in natural condition and after treatment, if any. During construction and after completion the observation of the foundation and of the dam proper has the following purposes, as a rule: i) to check the accuracy of the values ascribed to the properties of the foundation materials; ii) to investigate the possible evolution of the properties of the foundation during the life of the structure; and iii) to investigate the mechanical behaviour of the foundation, i.e. displacements and deformations, and its hydraulic behaviour, i.e., permeability, uplift and seepage.

As for the evolution of the properties (i. e. the ageing) of rock masses, the need to study it becomes more urgent as large dams grow older, as the recent Congress on Large Dams, in Istambul, has recognized in one of the conclusions agreed. The evolution of these properties, so far very imperfectly known, should be anticipated, at least in certain cases, since the construction of the dam disturbs seepage and stress conditions inside the foundation. Fig. 1 presents the evolution of displacements at points

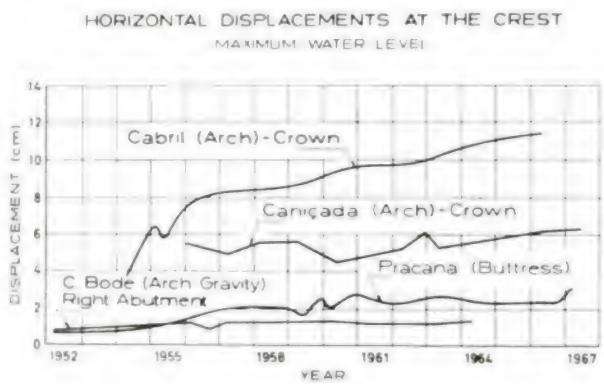


Fig. 1

of the crest in the portuguese dams of Cabril, Caniçada, Pracana and Castelo do Bode. As seen, according to the observations along about 15 years, the displacements increase with time, which we ascribe, at least in part, to slow deformations in the foundations, i.e., their ageing.

Such as in any other structure, the observation of the properties of the component materials and of the behaviour of the foundation under the applied loads has two aims: to increase knowledge and to assess the safety of each dam.

The problems of measuring permeability, uplift and seepage losses in foundation rock masses will not be dealt with, as I have nothing to add to the methods currently used. We will only draw attention to the interest of associating the usual measurements of uplift (during the observation of the behaviour of the foundation) with the determination of the «in situ» permeability, in

it. These changes may derive from alterations in the rock mass or in the state of stress in it. The determination of the permeability can be performed in the holes drilled for the determination of uplift pressures or in the boreholes of the drainage curtain.

Our report will be concentrated on the problems connected with the determination of the mechanical properties of rock masses and the observation of the behaviour of dam foundations. Regarding the mechanical properties of a rock foundation it is above all necessary to determine its deformability and shearing strength.

2. DETERMINATION OF THE DEFORMABILITY OF FOUNDATION ROCK MASSES

Before dealing with the problem of the determination of the deformability in rock masses, I would draw attention to the fact that in practice deformability need not be known with a very great accuracy. Thus for concrete dams in general, the numerous model tests we have performed show that the influence of deformability can be expressed by Fig. 2 in which $\frac{E_f}{E_c}$ represents the ratio between the moduli of elasticity of the foundation and the concrete. The figure shows in qualitative terms how a change in the deformability of the foundation influences

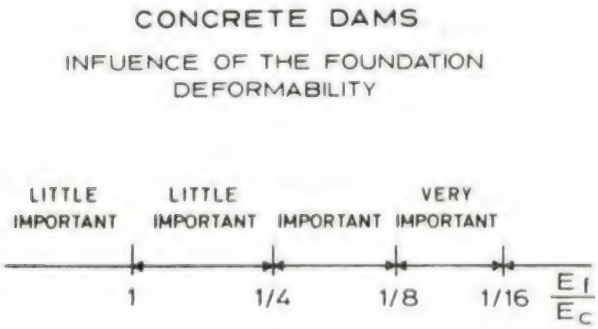


Fig. 2

the state of stress in the dam, in comparison with a foundation with the same deformability as the concrete of the dam, i.e. with respect to the case $\frac{E_f}{E_c} = 1$. The $\frac{E_f}{E_c}$ ratio can change even in extensive zones of the foundation from high values down to 1/4 without markedly affecting the state of stress; it is for $\frac{E_f}{E_c} < \frac{1}{4}$ that the influence of deformability becomes important, and considerably more so for $\frac{E_f}{E_c} < \frac{1}{8}$; for values $\frac{E_f}{E_c} < \frac{1}{16}$ in extensive zones, the conception of the dam and the state of stress in it are very strongly influenced by the deformability of the foundation. These remarks are of course of a general order and purely qualitative.

They show nevertheless that for the common range of values of the deformability this need not be known very accurately. Thus although the accuracy required increases when $\frac{E_f}{E_c}$ decreases, we think that in general, even for a value of $\frac{E_f}{E_c}$ of about $\frac{1}{16}$, it will suffice to know E_f with an accuracy of about 20 per cent; i.e. the tests required need only indicate that the modulus of elasticity ranges from 0.8 E_f to 1.2 E_f, which is a wide interval.

Although deformability need not be known with a high accuracy, the techniques so far available to determine it are not satisfactory. Such is the conclusion drawn from our experience in the determination of deformability by means of jack-loading tests with the setup shown in Fig. 3, which was used in more than 500 tests in widely

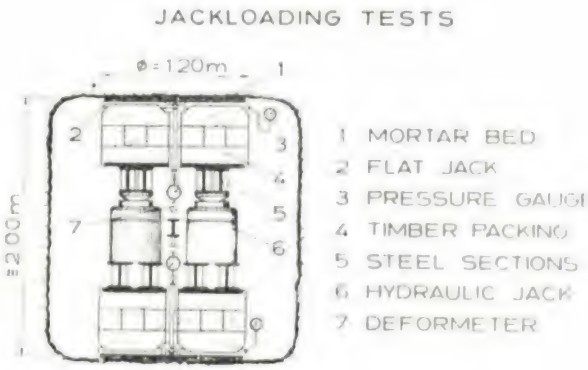


Fig. 3

different formations. Even for a loaded area with 1m², which exceeds the value currently adopted, jack tests are open to two criticisms: i) the tested

zone in the rock mass is disturbed by the excavation ; ii) the volume involved is not representative in many cases, due to the heterogeneity and fracturing in the rock mass.

In order to overcome these diffculties, we have developed a new technique of determination of deformability, which is presented in Fig. 4. One slot or one series of contiguous slots are cut in

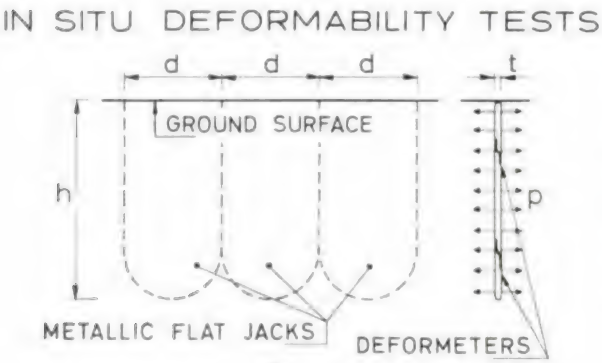


Fig. 4

the rock by means of a diamond disk with a diameter d equal to for instance 1m, and a width t. A flat jack is installed in each slot and the same pressure p is simultaneously applied in all the jacks. The increase in the distance between the faces of each slot due to the applied pressure p is measured by means of deformeters inserted in the jacks. Fig. 5 shows the slot-cutting machine fitted with a disk 1 m in diameter. The disk is

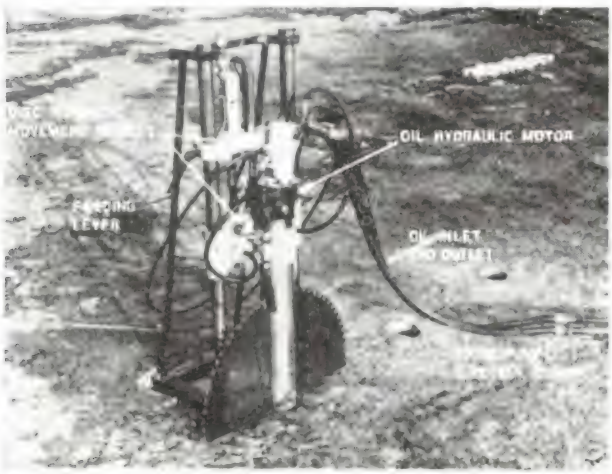


Fig. 5

operated by an oil engine, the movement being transmitted by a chain installed in the holding tube. In order to enable the penetration of the disk in the rock, e. g. up to 1.5 m or more, the holding tube is fitted inside borehole previously drilled by the machine itself. A flat jack being fitted in a slot is seen in Fig. 6 and Fig. 7 shows

Fig. 6

the flat jack in position for the test, the pump which applies the pressure inside the jacks and the deformeter reading instrument.

Fig. 7

Fig. 8 presents the results of a test with a single flat jack. Save for the initial disturbance, both the loading and the unloading curves are very smooth. The corresponding modulus of elasticity is 650 000 kg / cm². The values determined in prismatic specimens obtained from the core taken from the borehole amounted to 740 000 kg / cm², which, as was to be anticipated from the nature of the rock mass, slightly exceeds the former value.

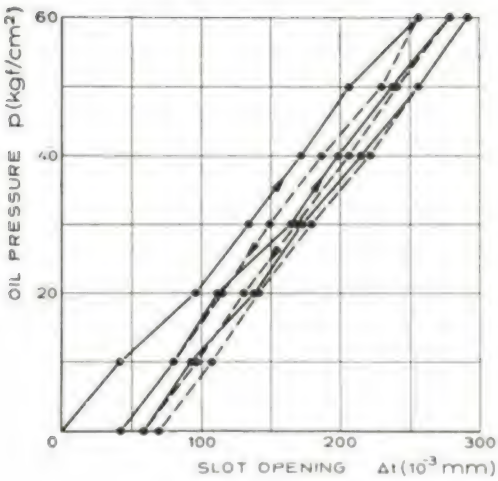


Fig. 8

By means of the technique developed, which is very expedite and inexpensive, large volumes of the rock mass can be tested practically undisturbed. In fact the disturbance due to the cut of the slot is minimum, and the disturbance in the tested volume due to the excavation of the testing adit is much less important in the direction in which the pressure of the flat jacks is applied (i. e. in the direction parallel to the surface of the ground) than in the perpendicular direction, along which forces are applied in current jack-loading tests. The test can even be perfomed so as not to load the zone of the slot in the neighbourhood of the ground surface. Notice that it is not difficult to apply high pressures, e. g. 150 kg / cm² or more, in the slots whereas the limitations of current jack tests in this connexion are well-known. It is worth noting that, even in a very sound rock, a slot 1.5 m deep can be cut in a few hours.

The machine can cut slots in any direction even in the horizontal. It is thus possible to determine the deformability of the rock mass in the direction of the forces applied by the dam.

Thus a technique is available, for the first time, that enables deformability to be determined in conditions sufficiently representative of the behaviour of rock masses in foundations of dams.

The volume of rock mass tested can subsequently be grouted, in conditions reproducing those that will prevail in the foundation, and be tested again to investigate the influence of the grouting on deformability.

Both the current and new jack-loading techniques have a severe limitation. In fact in both cases the zone to be tested has to be accessible, which limits the depth of tested points and raises difficulties in connexion with tests in certain special conditions, e. g. below river beds. Additionally tests are expensive and time-consuming.

That is why we think dilatometers of great interest for determining deformability along boreholes. In recent years we have developed a dilatometer, the design of which has obeyed the following conditions: i) to be used in boreholes with the diameters current in site exploration; the diameter adopted is 76 mm; ii) to operate under water; iii) to be used at great depths under ground; iv) to apply pressures up to 150 kg / cm² on the rock; and v) to measure the deformations of four diameters at 45° with one another.

A diagram of the instrument developed is presented in Fig. 9. It can apply a radial pressure on the wall of the hole in a length of about

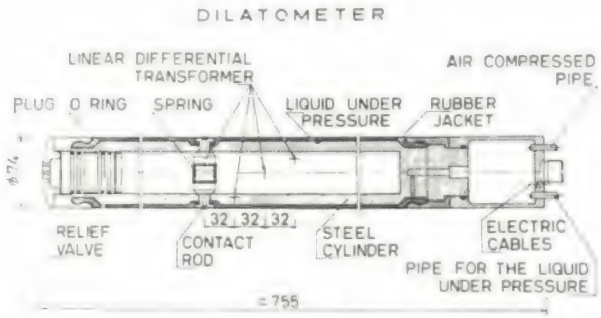


Fig. 9

60 cm. The applied load is due to water under pressure, contained between a rubber jacket and a steel tube. The deformations are read by means of very accurate differential transformers and information is obtained about anisotropy as four deformations are measured. The dilatometer is shown in Fig. 10: the points where the measuring

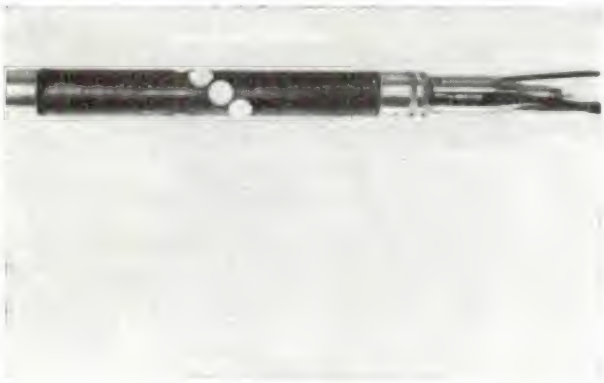


Fig. 10

instruments contact the wall of the hole can be seen.

The performance of the dilatometer was tested in laboratory conditions inside steel tubes (Fig. 11). The pump which applies the radial pressure, the manometers which read it and the

Fig. 11

deformation measuring instruments are shown in the figure. Deformations in the internal diameters measured with the dilatometer were compared with deformations measured in the external diameter. A very satisfactory agreement has been obtained, as is exemplified by Fig. 12.

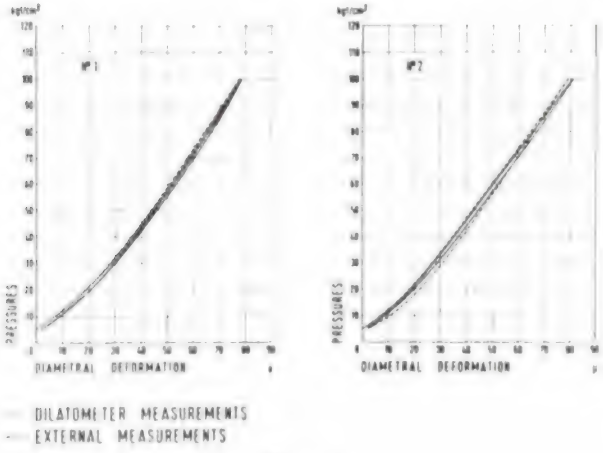


Fig. 12

Dilatometers have also been tested inside holes in cylinders of cement mortar with different deformabilities (Fig. 13). The loading and unloading curves corresponding to three diameters for the same position of the dilatometer are presented in Fig. 14. Deformations along diameters 1 and 2 yielded very approximate values of E, of about 130 000 kg / cm^2, whereas an appreciably lower

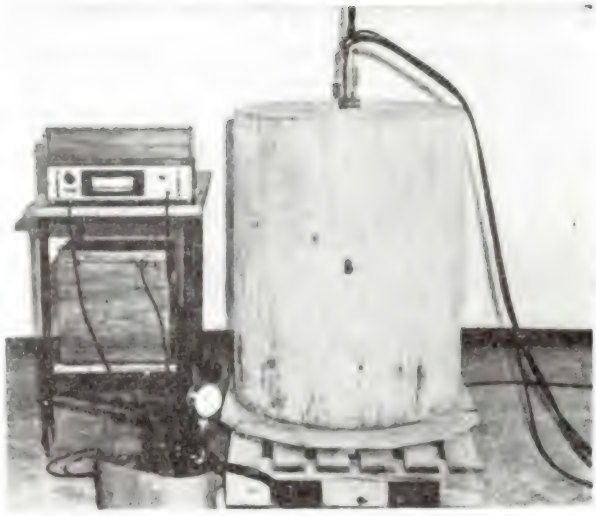


Fig. 13

value was obtained for diameter 3. The last test was performed several times, the results showing that the deformability of the mortar was indeed higher along diameter 3. Notice that the tests in core samples from the cylinder yielded a mean value of 160 000 kg / cm^2. The tests in cylinders with different strengths have shown that the agreement between the values of E measured with the dilatometer and determined in core samples improves as E increases. This is probably due to the disturbance caused when the hole is driven, which is more marked in mortars having a lower strength. Nevertheless an accuracy of 10 to 20 per cent is entirely satisfactory for practical purposes.

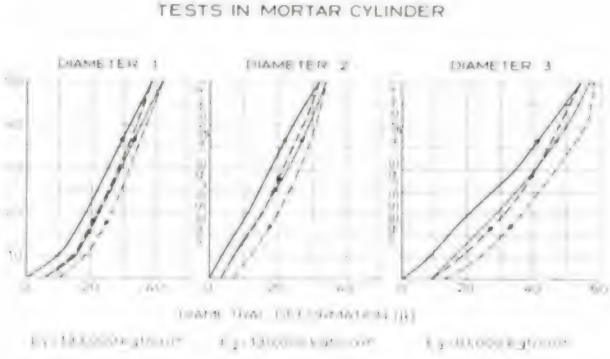


Fig. 14

Finally results obtained «in situ» in a fairly weathered granite rock mass are presented in Fig. 15. As shown, for pressures up to 80 kg/cm^2 the loading and unloading curves are very regular. The moduli of elasticity corresponding to

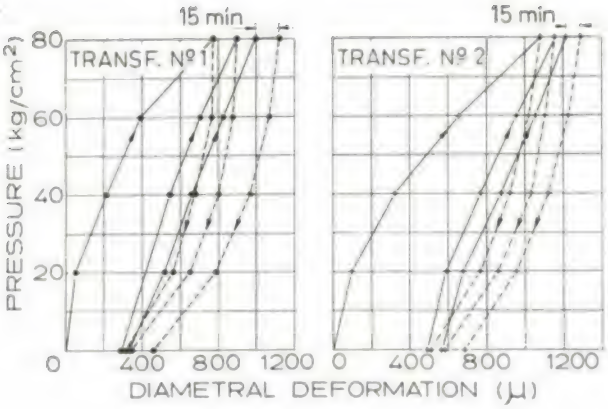


Fig. 15

the 2nd and the 3rd cycles are about 12 000 kg / cm², for the two directions considered.

We inted to undertake a systematic comparison of the values obtained with the dilatometer with values resulting from other methods. In particular, rock volumes tested by the new flat-jack method, precedingly described, will be tested with the dilatometer.

One disadvantage of the dilatometer is that each test involves only a small volume of rock. Nevertheless, given the possibility of performing many tests, even an almost continuous determination of deformability along boreholes, it will be possible, at least in some cases, to subject the results to a statistical processing so as to obtain the actual deformability of the rock mass in the different zones.

In general terms, our present position about the procedure to be followed to determine the deformability of a rock foundation in the following. In a first stage, preferably during the geological studies, the application of the dilatometer can yield an index of deformability along boreholes, by means of which the rock mass can be divided in zones according to deformability. In a second stage it should be possible, with the help of the new flat-jack method, to obtain a satisfactory definition of the deformability in each zone. A correlation between the results obtained with the dilatometer and the results of flat-jack tests should allow the number of the latter to be reduced.

We believe, therefore, that with these techniques it will be possible in the future to define with a sufficient accuracy the deformability of foundation rock masses.

3. DETERMINATION OF THE STRENGTH OF ROCK MASSES

The assessment of the safety of a foundation requires that the bearing capacity of the rock mass is known. In almost all cases, the failure of a dam through the foundation is only possible by shear along a surface. Nevertheless, in the special case of rocks with a very porous structure (e.g. some chalky limestones), the dam can fail by crushing in the foundation. In this case loading tests up to failure on areas involving representative volumes of the rock mass can supply the information required for assessing safety. In the general case of failure by shear, it is necessary to know the shear strength of the rock mass.

In order to determine the shear strength, we have used the setup presented in Fig. 16, in which forces N and T are applied on blocks with

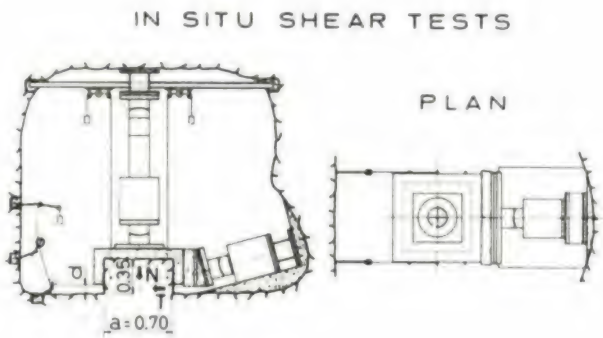


Fig. 16

a cross section of 70 × 70 cm. In order to make the test as representative as possible of the heterogeneity and fracturing of the rock mass, the distance d is given the highest value for which tensil bending stresses do not occur. Displacements are measured at different points during the test. Fig. 17 shows the test of an oblique block with a shear section parallel to the schistosity of the rock. Fig. 18 shows a machine recently developed for preparing the lateral faces of test blocks by means of a diamond disk. It is thus possible to reduce the disturbance in the rock mass, which wiht the usual techniques of prepation of blocks can entirely distort the results of these tests.

More than 250 shear tests were so far carried out with the setup presented, not only in rocks

but also in joints and faults, from which valuable experience and knowledge were obtained.

As for the significance of the tests, two cases can be considered: i) the one in which the

Fig. 17

foundation fails exclusively along joints or fractures; and ii) the case of rupture along a surface intersecting the rock blocks themselves.

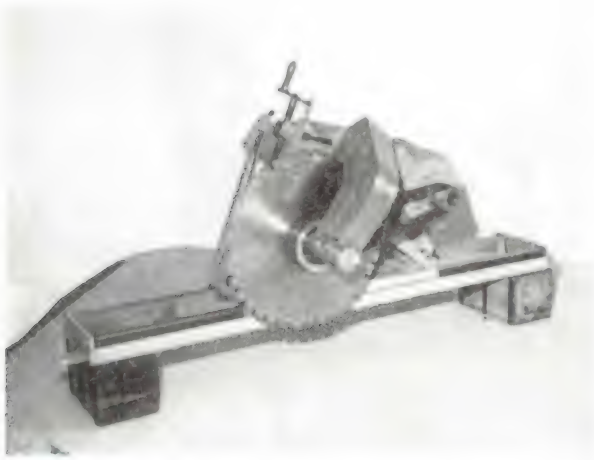


Fig. 18

In the former case, our experience shows that, as a rule, the test described performed along the joints or fractures yields representative results. More than that, systematic tests we have carried out in recent years have shown that even laboratory tests of joints performed on 20×20 cm samples yield results which agree very satisfactorily with the results of «in situ» tests in 70×70 cm sections. Notice that the results obtained, even in the case of clean joints, indicate comparatively low angles of friction, in the majority of cases less than 35°. The coefficient of friction corresponding to 35° is 0.7, which is the value usually adopted in the analysis of stability of foundations. This shows that without a very relevant contribution of the interlocking between blocks to the strength of the rock masse, failure of dams through the foundation would be very frequent.

In the second case considered above, in which the shearing strength of the blocks themselves is involved, two problems arise in connexion with the determination of the bearing capacity: i) the determination of the shear characteristics of the rock itself and of the joints; and ii) the calculation of the shear strength of the rock mass from the preceding characteristics.

The determination of the shear strength of the rock itself when this presents a marked heterogeneity and a wide spaced facturing may require tests in sections rather larger than 70×70 cm, if significant results are to be obtained. That is why, in the present state of Rock Mechanics, we consider of great interest to develop setups in which large sections can be tested rapidly and inexpensively.

The second problem, that is, the determination of the shear strength of a rock mass is still unsolved, so that designers must resort to well-known radical simplifications, such as for instance to neglect the contribution of the shear strength of the rock and to ascribe to the rock mass the angle of friction of the joints. This however may be too rough an assumption, as the angle of friction of rocks, even very weathered, is as rule high, say above 55°.

Summing up, nowadays a satisfactory estimation of the shear strength of rock masses is only possible as a rule with respect to shear along joints.

MAGUE

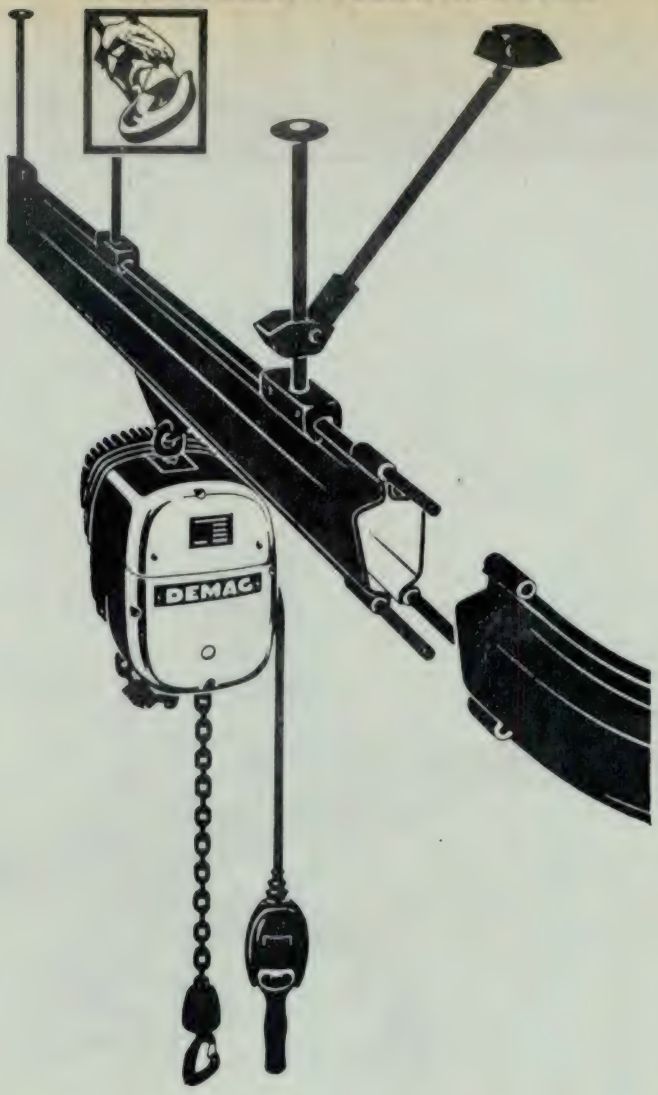
TORRE DE CARREGAMENTO DE NAVIOS, INTEGRADA NO TERMINAL DE AÇUCAR DO PORTO DE LOURENÇO MARQUES, COM UM DÉBITO DE 750 t/h.

PONTES ROLANTES, GUINDASTES E APAR. DE ELEVAÇÃO ESPECIAIS	*Projecto e fabrico*
TURBINAS HIDRÁULICAS	*Fabrico segundo licença de A. C. M. de Vevey, S. A.*
TURBINAS A VAPOR	*Fabrico segundo licença de Brown Boveri, Cie.*
CALDEIRAS A VAPOR	*Projecto e fabrico segundo licença de Foster Wheeler, Co.*
EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS	

CONSTRUÇÕES METALOMECANICAS **MAGUE** S.A.R.L.

ALVERCA DO RIBATEJO — PORTUGAL

DEMAG EQUIPA TODA A INDUSTRIA



Mais uma solução para os vossos problemas de elevação!

O novo «Demag Junior» deu as melhores provas nos ensaios práticos a que foi sujeito.
Equipado com corrente de elos de alta resistência, com um coeficiente de segurança dez vezes superior à sua capacidade nominal, dispõe de um acoplamento de fricção anti-desgaste que o protege contra sobrecargas e erros de mánobra.

Para capacidades de 125, 250, 500 e 1000 Kg., podendo dispor de duas velocidades de elevação-normal e de precisão.
A sua utilização em conjunto com o

Sistema Demag Junior: pequenas gruas de parede e de coluna, pequenas pontes rolantes suspensas e monorails suspensos, de fácil montagem, constitui a resolução económica, racional e prática dos problemas da sua indústria.
Consulte-nos no seu próprio interesse e a nossa resposta será: Servir!

ROMAR
Uma organização ao serviço da indústria

SOCIEDADE COMERCIAL ROMAR, LDA.

LISBOA – TRAVESSA DA GALE, Nº 9 TEL. 635670 / 634061 • PORTO – R. DE SÁ DA BANDEIRA, Nº 589/603 TEL. 25871/32205

4. OBSERVATION OF THE BEHAVIOUR OF FOUNDATIONS

I will now discuss the observation of the behaviour of dam foundations under the actions applied during construction and after completion of the structure.

First I would like to underline the following difficulties found in measurements in dam foundations: i) the heterogeneity of rock masses; ii) difficult access to internal points of the rock mass; iii) the fact that loading tests cannot as a rule be performed, the observation having to depend on the filling and emptying of the reservoir determined by the operation of the scheme; and iv) the fact that the applied loads, and consequently their effects, change as a rule very slowly.

It results herefrom the development of adequate techniques of observation has been hard, and that observation is expensive. That is why insufficient data are at present available on the actual behaviour of dam foundations.

Bearing in mind the frequent doubts and divided opinions about the adequacy of a rock mass for a given type of dam, it will be easy to understand the interest of more extensive observation of the foundations of dams.

The observation of the mechanical properties of foundations includes the determination of deformations and displacements. Due to the difficulties presented above, the data at present available concern almost exclusively displacements of surface points, whereas it is above all the observation of zones of the rock mass under more direct loading that can help to clarify the problems raised by rock foundations.

5. MEASUREMENT OF DEFORMATIONS

From the strains measured in the foundation it is possible to determine as in any other structure, its state of stress. It is additionally of great interest to measure strain caused by known states of stress, in special those due to the weight of the structure during its construction, with a view to determining the actual deformability of the rock mass. This, on one hand, allows to check the accuracy of the deformability values used in te design and, on the other, interpret the results of the observation of displacements in the dam itself. Dilatometer tests are advisable not only to confirm the values anticipated for deformability but also to obtain the possible evolution of this during the life of the structure.

Given the basic importance of fractures of different kinds for the behaviour of the rock masses, it is also of interest to measure shear strains in the fractures, i. e. the displacement of one wall with respect to the other.

Due to the heterogeneity and fracturing of rock masses the determination of stresses calls for measuring strains on long bases. Thus, the dispersion of the results obtained with strain meters having a base of 25 cm led us to develop a long base strain gauge. Fig. 19 shows a diagram of the instrument with a 2 m base, whose mea-

LONG-BASE STRAIN GAUGE

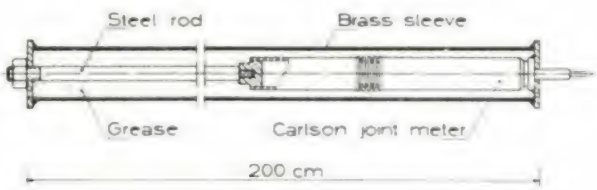


Fig. 19

suring unit is a Carlson joint meter that can measure deformations up to 5 mm with a high accuracy and stability. The strain gauge is placed in a borehole 7.6 cm in diameter, previously filled up with rather fluid fine-sand mortar. The strain meter is wrapped in a rubber jacket which prevents its contact with the rock except in two 10 cm-lengths near the ends.

The number of instruments to be mounted at each point is variable from case to case. The location of 2 m base strain meters in the foundation of Alto Rabagão dam is shown in Fig. 20. The dam is founded on decomposed granite with an extremely high deformability, where as indicated the modulus of elasticity can be as low as 10 000 kg / cm^2 (140 000 psi). The strain meters are located in groups of three and five, in addition to some single strain meters. The strain

meters in the groups of five are arranged so as to permit the determination of normal stresses σ_1, σ_2, σ_3, and shear stresses τ_{13}, τ_{23} in the plane of the foundation. A sixth strain meter was not used due to the difficulty of installing strain meters parallel to the foundation surface. The results yielded by three strain meters of one of the groups placed under the left abutment are

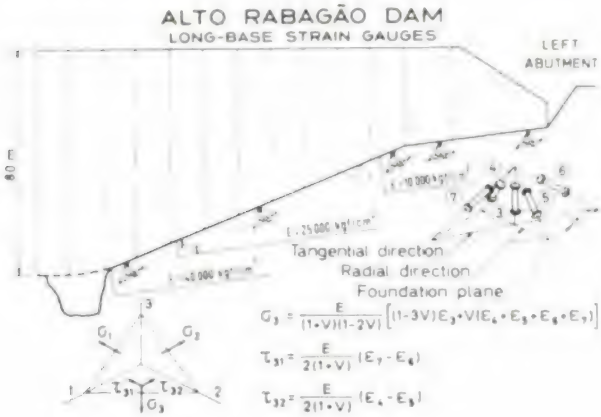


Fig. 20

presented in Fig. 21. The effect of the weight stresses during the construction of the dam, and also of the hydrostatic pressure stresses, are clearly detected by the strain meters. The modu-

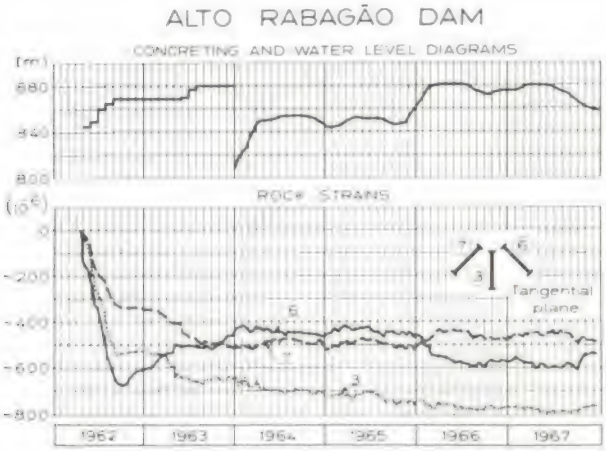


Fig. 21

lus of elasticity was calculated from the weight strains, the value obtained of 11 000 kg / cm² being in perfect agreement with the one mea-

sured «in situ». Fig. 22 shows the location of two groups of five strain meters each, for measuring normal and shear strains in a fault.

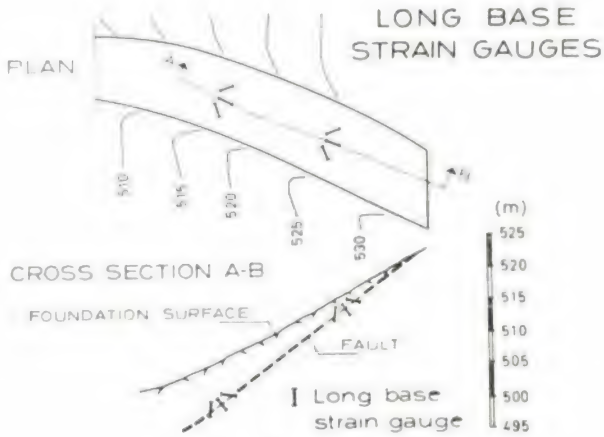


Fig. 22

We also inted to measure deformations by means of invar wires in galleries driven in the foundation, according to a method we have used for measuring deformations in the dams proper. Fig. 23 shows a diagram of the setup used. It is essentially made up of a stretched invar tape which is used as a base with a well-defined length. The variation of the distance between two points *a* and *b* is determined by reading with microscopes, with respect to the tape, the position of marks placed at the points. It is thus possible to measure variations of distance between points several meters apart, for instance 6 or 12 m, with an accuracy of about 0.05 mm, which amounts to about 5×10^{-6} for base lengths of 12 m, that is the accuracy obtained with Carlson

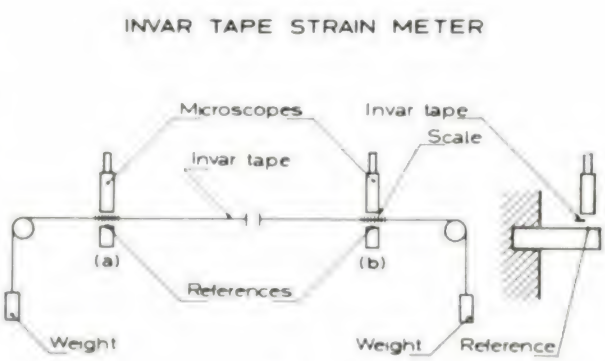
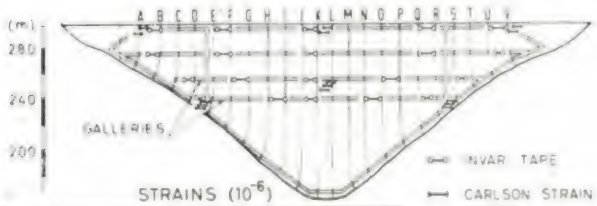


Fig. 23

meters on a 25 cm base. Fig. 24 shows the setup in position for the measurements. Is is an equipment currently used for measuring geodetic bases. The figure shows the invar tape stretched by a string running through a pulley, and the

Fig. 24

microscope. In Fig. 25 results of strain measurements between points 12 m apart in galleries of Cabril dam are presented and compared with the values yielded by Carlson strain meters embedded



ELEVATION		293			255	239	
BLOCK		UV	JK	AB	JK	QR	DE
EPOCH 1 TO EPOCH 2	INVAR TAPE	+78	+94	+88	-32	-25	-3
	STRAIN METER	+81	+106	+84	-24	-25	+1
EPOCH 1 TO EPOCH 3	INVAR TAPE	-48	-81	-50	-197	-110	-87
	STRAIN METER	-61	-87	-51	-146	-106	-73

EPOCH	DATE	WATER LEVEL
1	30-I-61	EMPTY
2	25-V-61	268.5
3	11-I-62	293.4

Fig. 25

in the concrete in the neighbourhood of the gallery. As seen an excellent agreement was achieved between results obtained with very different techniques, which shows the high accuracy of the method described.

For observing deformations along adits in rock masses we will use shorter, for instance 2 or 3 m long, bases at least in points near the foundation surface, but even so the method will be sufficiently accurate.

For measuring vertical deformations in foundation rock masses we are using the setup presented in Fig. 26. It is essentially made up of

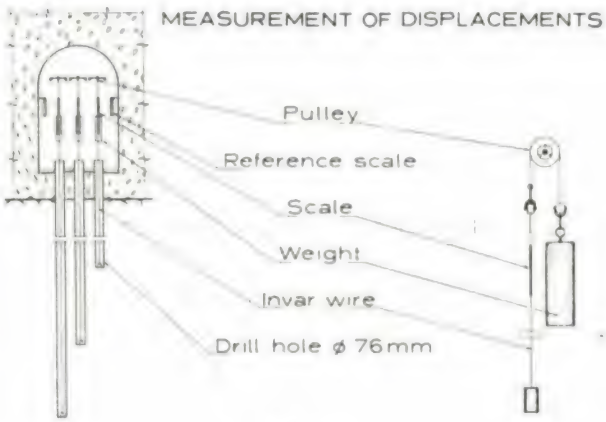


Fig. 26

invar wires fastened at the ends of boreholes with different depths and stretched by weights when the strains are measured. Vertical displacements of scales fastened to the wires are determined by means of a level, with respect to scales of reference fixed to the wall of the gallery. Displacements of foundation points can be measured with an accuracy of 0.1 mm. Deformations in the layers defined by the ends of the boreholes are computed from the values of the displacements.

A recent improvement which makes measurements less expensive consists in taking readings at different depths in a single borehole. Thus Fig. 27 shows invar wires fastened at the wall of the hole at different depths by means of plugs through which run the wires fastened lower down.

From what I have said it is seen that techniques of different nature are available for measuring strains in foundations: strain meters, invar tapes as used in geodesy and invar wires. These techniques allow the determination of deformations with the necessary accuracy in short and long term observations.

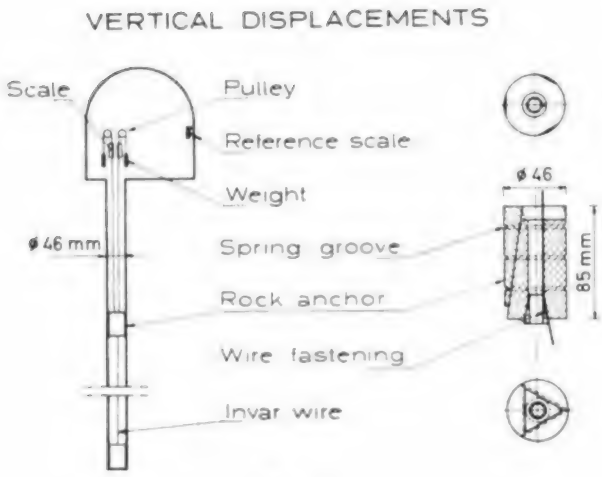


Fig. 27

6. MEASUREMENT OF DISPLACEMENTS

The values of the absolute displacements are of interest for an overall assessment of the behaviour of a dam and its foundations, particulary as regards safety.

The determination of absolute displacements is difficult, due to the need of securing points that can be assumed as fixed, with respect to which displacements must be measured. These fixed points may be ground surface points sufficiently removed from the dam, or may lie near the structure but at suitable depths.

Absolute displacements with respect to removed points are measured by the well-known geodetic method, by means of which the horizontal components of the displacements are obtained. This method has been used almost exclusively in the observation of points on the ground or on the dam. It is also adequate, nevertheless, for measuring absolute displacements at points in galleries driven through the foundation.

The displacements measured by the geodetic method in Alto Rabagão dam are presented in Fig. 28, and compared with values obtained in model tests. The plan of observation included the measurement of displacements at two points inside a gallery through the foundation rock at elevation 830 m. As seen, the agreement between observed and predicted values is very good, in particular at points near the foundation and at the two points in the gallery. This agreement is very meaningful as it proves: i) the accuracy of the values of the deformability of the foundations drawn from the «in situ» tests; ii) the full representativeness of models; and iii) the high accuracy of the geodetic method of observation of displacements.

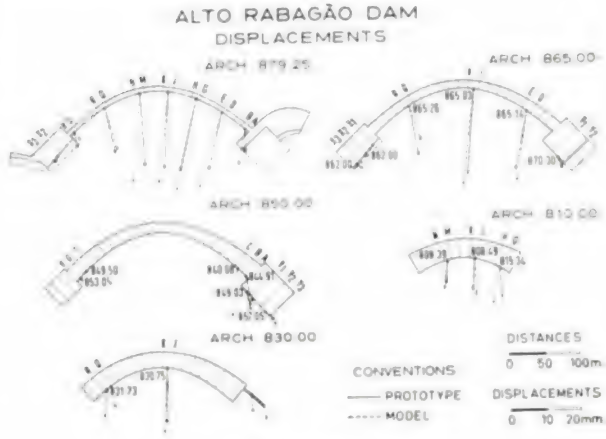


Fig. 28

The observation of points inside the foundation is in the line of our recent preference for measuring displacements inside galleries through the dam, instead of at points at the surface. It is thus possible to reduce operations in the open, the difficulties and limitations of which are well-known. A recently completed plan of observation is presented in Fig. 29. Absolute displacements measured inside a gallery associated with plumb-line measurements will make possible the determination of absolute displacements at numerous points of the dam.

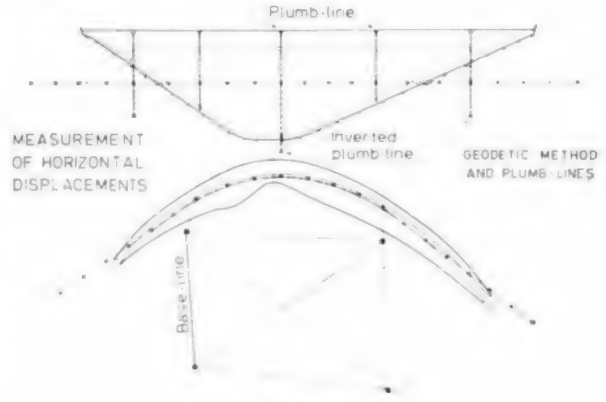


Fig. 29

Notice that only points inside one gallery are observed by the geodetic method, whereas the measurement of absolute displacements at points

FRAPIL

CONSTRUÇÕES E MONTAGENS ELÉCTRICAS

SARL

máquinas de soldadura eléctrica

transformadores

rectificadores de silício

processos semiautomáticos

licença

OERLIKON

SEDE E INSTALAÇÕES FABRIS

CAIS DE SÃO ROQUE
APARTADO 20
TELEFONE 23071/2
AVEIRO

DELEGAÇÃO NO SUL

RUA CASTILHO
38, r/c.-dt.
TELEFONE 52528
LISBOA-1

042.72:1658

ESTAMPARIAS TINTURARIAS LAVANDARIAS

PARA OS VOSSOS TECIDOS TÉCNICOS:
TRANSPORTADORES, MANCHONS, LAPPING, WOLFRIES,
FLANELAS, CANEVAS, ETC.,

EM FIBRAS NATURAIS OU SINTÉTICAS

CONSULTEM:

FANAFEL

FÁBRICA NACIONAL DE FELTROS INDUSTRIAIS
SOCIEDADE LIMITADA

APART.: 9
TELEFS : 52091 PBX
TELEG.: FELTROS

OVAR
PORTUGAL

ESCRITÓRIO E FÁBRICA
ESTRADA DE S. JOÃO

Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações, L.da

(SONDADORA)

SONDAGENS geológicas e geotécnicas — CAPTAÇÕES de águas subterrâneas — REBAIXAMENTOS do nível freático — CONSOLIDAÇÕES E ESTABILIZAÇÃO do solo — INJECÇÕES DE CIMENTO e outros produtos — INFRAESTRUTURAS de barragens, túneis e pontes — FUNDAÇÕES de todos os tipos

Única Empresa da especialidade com sede no Ultramar Português

DELEGAÇÃO - LISBOA
R.S.Pedro de Alcântara, 1
Tel. 32 46 93 e 21 32 56

SEDE - LUANDA
Rua Serpa Pinto, 60
C.P.2178 - Tel.4226

MOÇAMBIQUE
L.Marques - C.P.982 - Tel.741121
Beira - C.P. 1002 - Tel. 71497

inside a gallery requires the simultaneous measurement of the changes in the distances between the points of the traverse along the gallery. These changes in the distances are measured with invar tapes, by the method above described.

By the geodetic method it is possible to measure absolute displacements to within about 1 mm.

Sometimes it is also advisable to measure the vertical component of absolute displacements. This is done with respect to points removed from the dam, by means of precision levelling with which an accuracy of about 0.2 mm can be obtained.

Both the geodetic method and precision levelling are very delicate techniques, the application of which is time-consuming and expensive. That is the cause of the great interest in methods by means of which absolute displacements can be measured with respect to points deep below the foundation, notably as more accurate results can be obtained. A problem arises namely how deep must the reference points lie to be considered as fixed. Obviously this depth changes from case to case.

The horizontal component of displacements is today very frequently measured by means of reversed plumb lines, with which an accuracy of tenths of milimeter, that is entirely satisfactory, can be obtained.

Optical plumbs began now to be used at the LNEC for measuring horizontal displacements along a vertical hole. The method consists essentially in measuring, with a vertical-sighting telescope, the displacements of targets fixed on the wall of the borehole (Fig. 30). The line of sight of the telescope can be placed in its vertical position with a very high accuracy by sighting the surface of a mercury layer; the telescope can move in order to sight the targets. The hole is cased with a series of steel pipes connected with rubber bands, the interval between the casing and the rock being filled with grout: thus the casing pipe adheres to the rock without preventing its longitudinal deformation. Fig. 31 shows the optical plumb line used with which the components of the horizontal displacement can be determined with an accuracy of 0.3 mm for points 100 m deep, the accuracy increasing when the depth of the observed points decreases.

I think that the great advantage of this method lies in the possibility it gives of measuring horizontal displacements at different depths in the same hole, which is important because drilling the hole that may have an appreciable diameter, v.g. 20 cm, is expensive. This method will allow the determination of the depts at which the points can be considered as fixed.

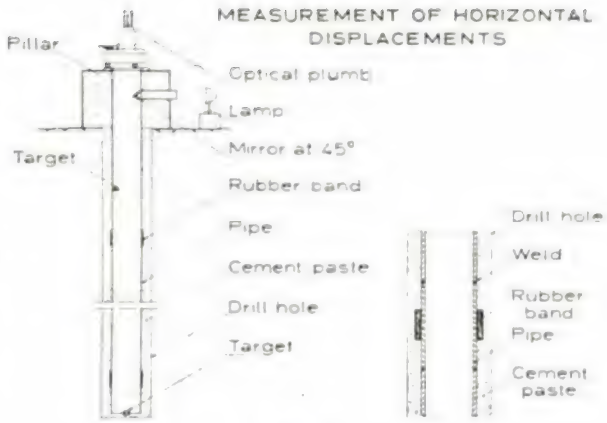


Fig. 30

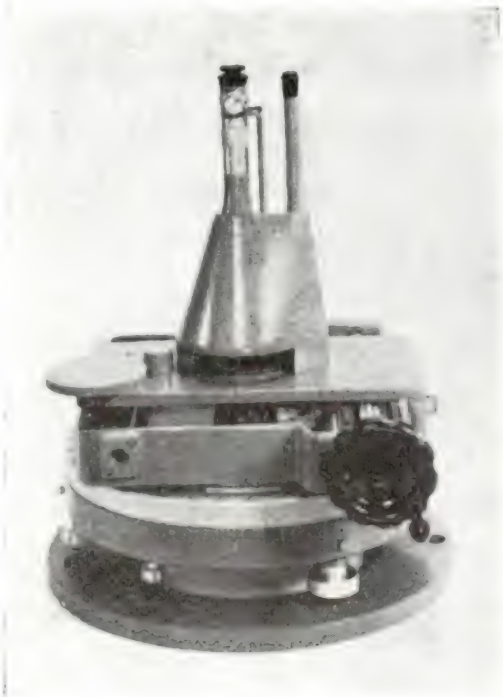


Fig. 31

I have dealt with the measurement of horizontal displacements, they can be measured at points along a vertical hole by means of wires,

provided that points which can be considered as fixed are available. The technique of wires fastened in holes can also be used even if the holes are not vertical.

Summing up, it seems possible to determine in satisfactory conditions the three components of absolute displacements from observations in drill holes sufficiently deep. Such measurements are facilitated by the fact that galleries from which measurements can be performed are nowadays usually left inside the dams, and sometimes even inside the foundations.

7. CONCLUSION

In conclusion I would only stress: i) the interest of dam foundation measurements as regards both the properties of the foundation and its behaviour under the applied loads; ii) the need to improve knowledge, in special about long-term behavior; and iii) that, thanks to recently developed measuring methods, it is possible to observe foundations of dams in satisfactory conditions.

C. D. U. 530.145.6:539.124:541.124

NÚMERO DE OSCILAÇÃO E RELAÇÃO ANALÓGICA

por CARLOS DE SOUSA AMARO MARTINS

RESUMO

Descrevem-se algumas propriedades do número de oscilação ao longo de direcções de vibração em sistemas e estruturas, apresentam-se tabelas de números de oscilação individuais e colectivos, e estabelece-se uma relação analógica, na mecânica ondulatória, com os números quânticos do movimento de partículas, entre as quais uma partícula com um milionésimo da massa do electrão em repouso.

SYNOPSIS

Oscillation number and analogical relation. *Some properties of the oscillation number along directions of vibration in systems and structures are described, tables of individual and collective oscillation numbers are presented, and an analogical relation, within the wave mechanics, with quantum numbers of states of certain particles is established.*

O número de oscilação. O produto do momento de inércia, I, de um sistema (de duas partículas consideradas de cada vez), em relação a um eixo a que pertence o centro de massas do sistema, pelo quadrado da frequência de vibração, ν, do mesmo sistema, ao longo de uma direcção (aplicada, localizada, não livre) que passa pelos centros de massas, perpendicular ao eixo, é um múltiplo ou fracção inteira duma constante fundamental de energia, ε. Ficou assim definido implìcitamente (*Técnica* n.º 341) o número de oscilação, l, pela equação:

$$\nu = \sqrt{\frac{l\varepsilon}{8I}}$$

Os sistemas homeostéreos (formados por partículas correspondentemente homeostéreas e dispostas de um modo semelhante nos diversos sistemas), em equilíbrio, têm os mesmos números de oscilação ao longo das direcções correspondentes (homólogas) nuns e noutros sistemas. Ou seja, em particular, o número de oscilação segundo uma direcção numa estrutura é igual ao número de oscilação segundo a direcção correspondente (homóloga) nóutra estrutura homeostérea com aquela.

O número de oscilação goza da propriedade aditiva: o número de oscilação de uma partícula colectiva é igual à soma dos números de oscilação das partículas individuais que formam a partícula colectiva. Consideramos, pois, um número de oscilação colectivo que é igual à soma dos números de oscilação individuais.

Elaborámos o Quadro 1 de números de oscilação individuais (atómicos) relativos à vibração ao longo da direcção de ligação entre átomos para a qual calculámos a seguinte constante fundamental de energia $\varepsilon = 82 \times 10^{-14}$ erg (*Técnica* n.º 341). A frequência de vibração é dada, em U. C. G. S., pela fórmula preparada:

$$\nu = \sqrt{\frac{10\,l}{I}} \times 10^{-7} \text{ (c/s, Hz ou hertz)}$$

Deste resulta o Quadro 2 que a seguir apresentamos de números de oscilação para algumas das possíveis combinações. (Passámos a utilizar as recomendações da U. I. Q. P. A., quanto à escrita das fórmulas).

Relação analógica. Uma partícula de massa m' absorveu sucessivamente um total de n^* *quanta* de energia $h\nu'$ passando a mover-se com uma velocidade v ao longo de uma região de comprimento r. A energia cinética (diferença entre a energia total e a energia potencial que pode ser nula se a partícula for livre) é

$$\Delta\varepsilon = n^* h\nu' = \frac{1}{2} m' v^2 = \frac{(m'v)^2}{2m'} = \frac{p^2}{2m'} = \frac{1}{2m'}\left(\frac{h}{\lambda}\right)^2 \qquad (1)$$

sendo, h a constante de Planck, $\lambda = \frac{h}{p}$ o comprimento de onda da onda associada à partícula de Louis-Victor de Broglie, e p a quantidade de movimento da partícula. Metade do compri-

QUADRO 1

Proveniência da ligação (orbitais exteriores do átomo)	*Valência* (segundo a direcção da ligação)	*Alguns exemplos*	*Número de oscilação* l (relativo à vibração ao longo da ligação)
ns $n \neq 1$	1	Li, Na, K, Rb, Cs, Fr, Zn, Cd, Hg, Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra	2
	2		
1 s	1	H, D, T	4
np^{α} $\alpha = 1, 2, 3, 4, 6$ $\alpha \neq 5$	1	C, N, O, S, Se, Te, Po, Si, Ge, Sn, Pb, P, As, Sb, Bi, B, Al, Ga, In, Tl	12
	2		24
	3		36
np^5	1	F, Cl, Br, I, At	16

mento de onda de de Broglie igual a r ou a um submúltiplo de r:

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{r}{n} \tag{2}$$

é, evidentemente, a condição de ondas estacionárias ao longo da região de comprimento r, onde n (inteiro) é o número de ventres (ou antinodos, ou de nodos mais um) da onda estacionária na zona de comprimento r.

A energia cinética permitida à partícula, movendo-se a uma dimensão e confinada à zona do espaço de comprimento r, é pois, (substituindo (2) em (1)):

$$\frac{n^2 h^2}{8 m' r^2} = n^* h \nu' \tag{3}$$

Identificando m' com a massa reduzida de um sistema de partículas, o momento de inércia do sistema é $I = m' r^2$, sendo r a distância entre os centros de massas das partículas (ou, identificando m' com a massa do sistema, em $I = m' r^2$ passa a ser r o raio de giração), e escrevemos a expressão anterior sob a nova forma:

$$\frac{n^2 h}{8 I} = n^* \nu' \tag{4}$$

Fazemos

$$l = \frac{n^2}{n^*} \tag{5}$$

(razão de números inteiros que pode ser um número inteiro).

Identificamos l com o número de oscilação e resulta:

$$\nu' = \frac{lh}{8I} \tag{6}$$

Consideremos na partícula colectiva de massa m' e velocidade v uma partícula individual de massa $m \simeq 10^{-6} m_e$, isto é, com aproximadamente um milionésimo da massa do electrão em repouso. A partícula individual acompanha a colectiva. Utilizando as fórmulas de Einstein e de de Broglie, da energia e da quantidade de movimento, respectivamente:

$$\nu'' = \frac{mc^2}{h\sqrt{1-\beta^2}}$$

$$\lambda'' = \frac{h}{p''} = \frac{h\sqrt{1-\beta^2}}{mc\beta} \quad \text{com} \quad \beta = \frac{v}{c}$$

concluímos que a velocidade de fase, ou seja, a velocidade com que avança a onda de matéria de de Broglie, é

$$u = \lambda'' \nu'' = \frac{c}{\beta} = \frac{c^2}{v}$$

donde

$$uv = c^2 \qquad (7)$$

mostra que a velocidade da onda electromagnética é a média geométrica da velocidade de fase da onda de matéria e da velocidade de grupo de ondas. Fàcilmente se demonstra ser a velocidade de grupo de ondas igual à velocidade da partícula. Associada ao grupo, consideremos a onda de modulação de comprimento de onda λ'.

A onda de modulação, tão descontínua como a própria matéria, não é uma das ondas individuais do grupo, porque estas têm as velocidades de fase e a onda de modulação tem a velocidade de grupo de ondas igual à velocidade da partícula. Podemos escrever, portanto,

$$\frac{v}{\lambda'} \cdot \frac{u}{\lambda''} = \left(\frac{c}{\sqrt{\lambda' \lambda''}}\right)^2$$

ou, ainda,

$$\nu' \nu'' = \nu^2$$

e

$$\nu = \sqrt{\nu' \nu''}$$

onde ν, que identificamos com a frequência de

QUADRO 2

Proveniência da ligação (orbitais exteriores)	*Alguns exemplos*	*Número de oscilação* l
ns | us $n \neq 1$ $u \neq 1$	Li_2, Na_2, K_2, Rb_2, Cs_2, Fr_2	$2 + 2 = 4$
1s | 1s	H_2, D_2, T_2 HD, HT, DT	$4 + 4 = 8$
np^5 | up^5	F_2, Cl_2, Br_2, I_2 At_2, ClF, BrF, BrCl, IF, ICl, IBr	$16 + 16 = 32$
ns | up^5 $n \neq 1$	NaCl, KCl, CsF	$2 + 16 = 18$
1s | up^5	HF, HCl, HBr, HI, HAt, DF, DCl, DBr, DI, DAt, TF,...	$4 + 16 = 20$
1s | np^α $\alpha \neq 5$	$\equiv C - H$, $\equiv C - D$, $\equiv C - T$, $= N - H$, $- O - H$, $- S - H$	$4 + 12 = 16$
np^α | up^5 $\alpha \neq 5$	$\equiv C - F$, $\equiv C - Cl$, $\equiv C - Br$, $\equiv C - I$, $\equiv C - At$, $- Xe - F$	$12 + 16 = 28$
np^α | up^β $\alpha \neq 5$ $\beta \neq 5$	$\equiv C - C \equiv$, $- O - O -$	$12 + 12 = 24$
	$O = O$, $= C = C =$, $= C = O$	$24 + 24 = 48$
	$N \equiv N$	$36 + 36 = 72$

vibração, é a frequência da onda electromagnética, ou seja, a média geométrica da frequência de modulação e da frequência da onda de matéria.

Resulta

$$\nu' = \frac{\nu^2}{\nu''} \tag{8}$$

Substituindo (8) em (6), vem

$$\nu = \sqrt{\frac{l\, h\, \nu''}{8\, I}} \tag{9}$$

Fazemos $\varepsilon = h\, \nu''$ que para velocidades relativamente pequenas da partícula individual tem um valor pràticamente constante: $c^2 m$, e identificamos ε com a constante fundamental (universal) de energia. Finalmente, resulta

$$\boxed{\nu = \sqrt{\frac{l\, \varepsilon}{8\, I}}} \tag{10}$$

fórmula idêntica à formula da lei enunciada no parágrafo anterior, a qual é geral. Os valores numéricos da constante (num mesmo sistema de unidades) são diferentes no caso dos núcleos atómicos e no dos átomos, de que, em particular, tratámos, ao fixar o valor da massa da partícula individual.

O mesmo resultado se obtinha, menos directamente, ao aplicar a equação de Erwin Schrödinger ao movimento linear livre (sem energia potencial) limitado (partícula na caixa) e sem ter em conta o efeito de túnel nas condições aos limites (problemas de fronteiras).

Por analogia com os efeitos de Compton, fotoeléctrico e de Raman, a frequência de modulação ν', também se pode escrever nas equações (1) como uma diferença de frequências. Nas expressões (3), (5) e (6) com $n^* = \frac{1}{2}$, $n = 2$ e $l = 8$, vê-se que a frequência de modulação é, simultâneamente, uma frequência de colisão (choque) da partícula de massa m' com a fronteira da região de comprimento r. Para uma analogia completa, falta identificar a energia cinética da partícula de massa m', já representada nas equações (1): $\Delta\varepsilon = \frac{1}{2} m' v^2$. Identificando m' com a massa reduzida do sistema de duas partículas consideradas de cada vez: $m' = \frac{m_1\, m_2}{m_1 + m_2}$, e v com a diferença de velocidades das partículas antes do choque, $\Delta\varepsilon$ identifica-se, portanto, com a perda de energia cinética no choque directo, não elástico, das partículas de massas m_1 e m_2 que depois do choque permanecem juntas até que se dê uma nova colisão. A energia cinética é consumida no trabalho de deformação dos orbitais exteriores cujos electrões de valência, em oscilações amortecidas, emitem energia que se propaga no espaço por ondas electromagnéticas que formam um espectro no infravermelho ao qual pertence a frequência de modulação ν'. Os electrões de valência ocupam sempre orbitais exteriores e são também electrões ópticos. Contudo, nos elementos de transição alguns electrões ópticos situam-se em orbitais interiores e encontram-se mais fracamente ligados aos núcleos que os exteriores. Assim, nos elementos de transição interior a saída endotérmica de um electrão exterior é acompanhada pelo salto exotérmico do electrão interior para o orbital que aquele ocupava. Só energèticamente, é como se apenas tivesse saído o electrão óptico, isto é, o electrão interior.

Mais uma vez mostrámos que da semelhança das configurações electrónicas extranucleares exteriores (camadas de valência) provém a semelhança das propriedades químicas e físicas (Tábua de Mendeleiev (1869)).

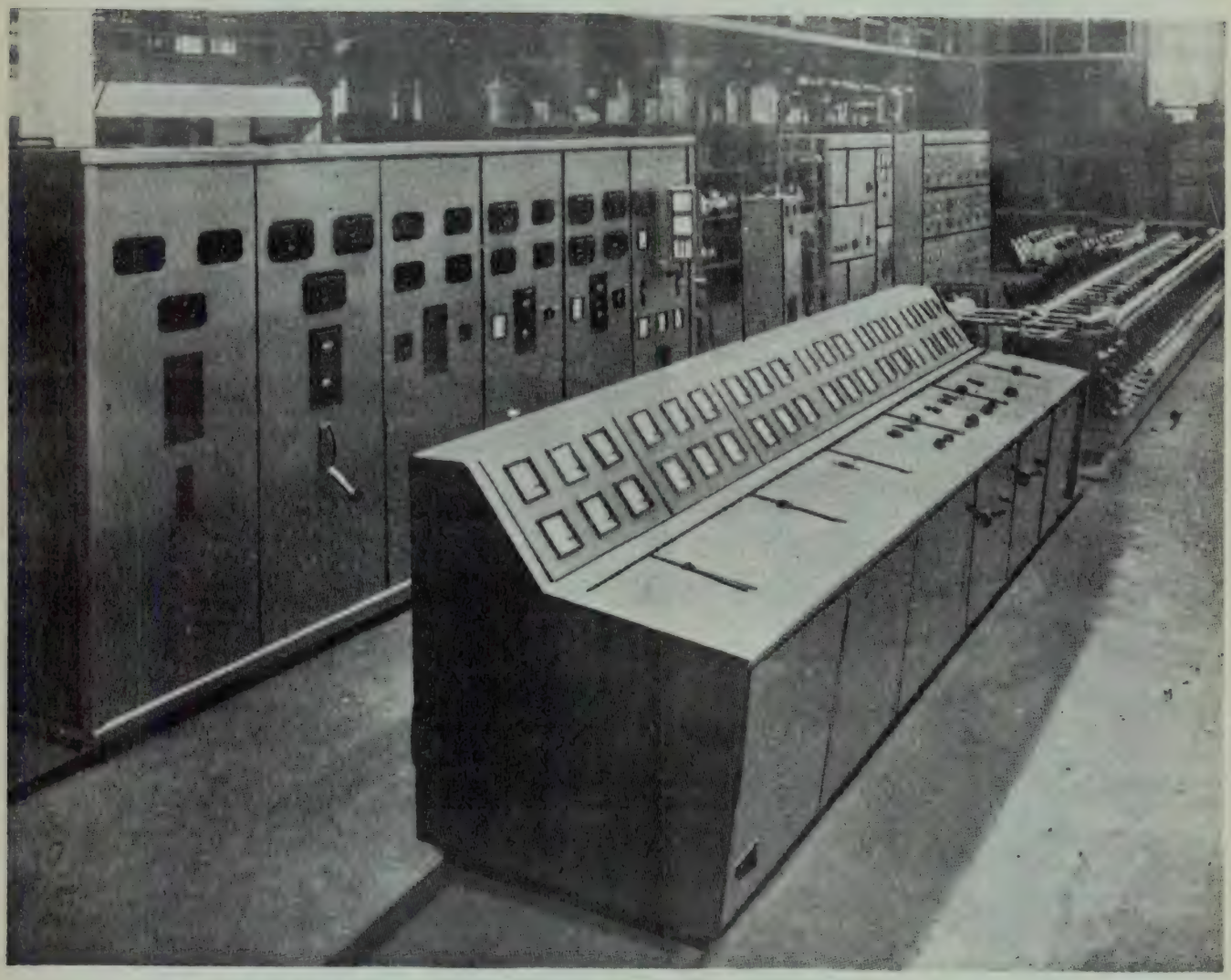
JAYME DA COSTA, L^DA

MECÂNICA E ELECTRICIDADE EM TODAS AS APLICAÇÕES

PORTO
Praça da Batalha, 12
Telef. 2 28 12 (PPC)

LISBOA
Rua dos Correeiros, 14
Telef. 32 70 35 (PPC)

LUANDA
Cx. Postal 5174
Telef. 4743



Material fabricado nas nossas oficinas, pronto para expedição

- Fabricação de aparelhagem eléctrica de alta e baixa tensão
- Equipamentos electromecânicos completos para centrais e fábricas
- Postos de transformação tipo monobloco
- Quadros blindados, capsulados e em armário
- Armaduras de iluminação de todos os tipos
- Contadores eléctricos e instrumentos de medida
- Telemedida e telecomando
- Instalações elevatórias de água
- Instalações de saneamento e esgotos
- Ferramentas de corte
- Motores Diesel industriais e marítimos
- Fogões eléctricos
- Frigoríficos
- Ventilação e condicionamento de ar
- Aparelhagem de Raios X e electromedicina

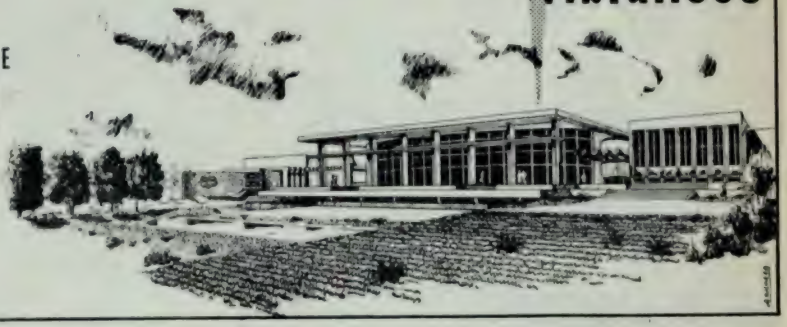
HOJE E SEMPRE... os aglomerados

ISOLA

ISOLA

- para isolamentos térmicos
acústicos
vibráticos

FAZEM PARTE INTEGRANTE
DA ARQUITECTURA MODERNA



Soc. Comercial de Isolamentos
de Cortiça, Lda.

AV. ANTÓNIO AUGUSTO DE AGUIAR, 17
LISBOA

Tel: 53 71 91 Teleg. Isola

ESCAVADORAS HIDRÁULICAS
S/RODAS — S/LAGARTAS

yumbo

— ENTREGAS IMEDIATAS

DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO

GUEDES & ALMEIDA, LDA.

RUA ÁUREA, 181 - 2.° — TELEFONES 32 50 11 - 32 78 45 — LISBOA

C. D. U. 624.042.4
533.6.07

O TÚNEL AERODINÂMICO DO LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

2.ª PARTE — CÁLCULO E MEDIÇÃO DA VELOCIDADE EM VAZIO

Por A. R. J. BORGES *

RESUMO

Define-se um parâmetro adimensional a que se chama coeficiente de utilização e que caracteriza um túnel aerodinâmico do ponto de vista energético. Descreve-se o processo de cálculo do coeficiente de utilização e da velocidade na câmara de experiências de um túnel de baixa velocidade com conduta de retorno.

Os valores calculados para o túnel do LNEC são comparados com os resultados obtidos em funcionamento.

SYNOPSIS

The energy ratio is first discussed as a measure of a wind tunnel efficiency. A method of calculation of the energy ratio and the speed in the test section is considered in detail for closed circuit low-speed wind tunnels.

The method is applied to the wind tunnel of the LNEC and the results are compared with values measured in the tunnel in operation.

1 — GENERALIDADES

O projecto de um túnel aerodinâmico começa pela fixação da forma e dimensões aproximadas da superfície interior, tendo em vista o cumprimento das exigências relativas ao escoamento experimental, o tipo de ensaios a efectuar, as disponibilidades de espaço e os recursos de potência.

Numa segunda fase procede-se ao cálculo da potência a instalar ou, como no caso presente, à estimativa da velocidade máxima que se obterá com o motor de que se dispõe.

O projecto termina com o desenho pormenorizado de todas as peças e a elaboração de outras especificações relativas à construção.

Esta 2.ª parte,** com que se continua a descrição do túnel aerodinâmico do LNEC, refere-se ao cálculo e medição das velocidades nominal e máxima do túnel em vazio. Explicitam-se os critérios de cálculo adoptados e comparam-se os resultados obtidos por via experimental com os valores calculados.

2 — CARACTERÍSTICAS DO MOTOR. CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO

A velocidade que se obtém na câmara de experiências de um túnel aerodinâmico depende da potência N do motor de accionamento, da temperatura t do ar circulante e da pressão atmosférica p.

No caso presente a potência nominal do motor é de 24 kW, podendo fornecer cerca de 27 kW como potência máxima, durante períodos de tempo relativamente curtos.

Os valores da temperatura e pressão no interior do túnel podem variar entre limites afastados. São função das condições meteorológicas e difíceis de arbitrar com precisão.

Adoptaram-se, para efeitos de cálculo, os seguintes valores médios: $t = 30\,°C$; $p = 755$ mm Hg.

3 — COEFICIENTE DE UTILIZAÇÃO

3.1 — Definição

Coeficiente de utilização*** de um túnel aerodinâmico χ é a relação entre a energia cinética da massa de ar que passa na secção de entrada da câmara de experiências por unidade de tempo e a potência fornecida pelo motor de accionamento. A definição refere-se ao túnel vazio (sem modelo) e às condições nominais de funcionamento do motor.

---

* Estagiário para Especialista, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

** Ver 1.ª Parte — Descrição geral, *Técnica* n.º 380.

*** Do francês «coefficient d'utilisation d'une soufflerie».

$$\chi = \frac{\frac{1}{2}\,\rho_o\,A_o\,U_n^3}{N_n} \qquad (1)$$

na qual: ρ_o é a massa específica do ar à entrada da câmara de experiências,
A_o a área da secção de entrada da câmara de experiências,
U_n a velocidade nominal do túnel e
N_n a potência nominal do motor

O coeficiente de utilização é um parâmetro adimensional que caracteriza o túnel do ponto de vista energético, sendo uma medida da sua eficiência.

Toda a energia mecânica fornecida ao túnel é transformada em energia térmica; uma pequena fracção pelo próprio ventilador, cujo rendimento designaremos por η_v, e a parcela restante nas diferentes partes do túnel.

Admitindo como hipótese que cada troço típico índice i do túnel é responsável pela perda da parcela N_i da potência total N, pode definir-se um coeficiente de perda de carga ζ_i, característico do troço considerado.

$$\zeta_i = \frac{N_i}{\frac{1}{2}\,\rho_i\,A_i\,U_i^3} \qquad (2)$$

na qual: ρ_i é a massa específica do ar à entrada do troço i,
A_i é a área da secção de entrada e
U_i é a velocidade média respectiva.

Mas, no interior de um túnel aerodinâmico de baixa velocidade, funcionando em regime permanente, as variações de pressão e temperatura têm efeitos desprezáveis sobre o valor da massa específica do ar ($\rho_i = \rho_o$) e ζ_i é função única do número de Reynolds Re. Por outro lado, as trocas de ar com o exterior são muito reduzidas e a equação de conservação de massa.

$$A_i\,U_i = A_o\,U_o \qquad (3)$$

permite relacionar a velocidade média na secção de entrada do troço i com a velocidade média de entrada na câmara de experiências.

Substituindo-se (2) e (3) em (1) obtém-se

$$\chi = \frac{\eta_v}{\sum_{i=o}^{n-1} \zeta_i \left(\frac{A_o}{A_i}\right)^2}, \qquad (4)$$

na qual n é o número de troços típicos que interessa considerar.

Esta expressão permite o cálculo de χ através do conhecimento dos coeficientes de perda de carga ζ_i e a obtenção da velocidade nominal do túnel por aplicação da expressão (1). A circunstância resultante da existência de uma relação entre os ζ_i e Re obrigará à aplicação de um processo de resolução iterativo que, na prática, se revela fortemente convergente em virtude de a referida dependência ser fraca e geralmente monotónica.

3.2 — Coeficientes de perda de carga

Apresentam-se seguidamente as fórmulas utilizadas no cálculo dos coeficientes de perda de carga. Os valores obtidos para $Re = 3{,}12 \times 10^6$ ($U_o = 50$ m/s) constam no quadro 1.

QUADRO I

Análise dos coeficientes de perda de carga

i	DESIGNAÇÃO	L_i [m]	A_i [m²]	ζ_i
0	Câmara de experiências	3,00	1,311	0,028
1	Entre os cantos 1 e 2	1,54	2,270	0,009
2	Entre os cantos 3 e 4	0,64	4,524	0,003
3	Câmara de tranquilização	0,70	4,524	0,003
4	Difusor 1	—	1,166	0,039
5	Difusor 2	—	2,010	0,046
6	Canto 1	2,40	2,270	0,162
7	Canto 2	2,40	2,270	0,182
8	Canto 3	3,30	4,524	0,166
9	Canto 4	3,30	4,524	0,166
10	Entre o canto 2 e o ventilador	0,45	2,270	0,003
11	Colector	2,25	4,524	0,093
12	Rede de protecção	—	2,270	0,047
13	Rede de turbulência	—	4,524	0,375
14	Juntas, fugas, etc.	—	1,131	0,021

3.2.1 — Câmara de experiências e troços de secção constante

As perdas de energia na câmara de experiências e nos troços de secção recta constante são fundamentalmente devidas ao atrito do ar nas paredes do túnel. Admitindo em primeira aproximação que a constituição do escoamento nestas regiões não depende da coordenada medida segundo a direcção axial, é legítimo aplicar as leis válidas para os tubos lisos muito compridos e de eixo rectilíneo e calcular o coeficiente de perda de carga através da expressão

$$\zeta = \frac{\lambda L}{D_h} \qquad (5)$$

na qual: $D_h = \frac{4A}{P}$ é conhecido pela designação de diâmetro hidráulico,

P é o perímetro da secção de área A,

L é o comprimento do troço de tubo considerado e

λ é um coeficiente de atrito, função de $Re = \frac{V D_h}{\nu}$

O coeficiente de atrito λ pode ser calculado a partir da lei de Prandtl [8]

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2{,}0 \log (Re\sqrt{\lambda}) - 0{,}8 \qquad (6)$$

válida na gama de números de Reynolds que nos interessa.

3.2.2 – Difusores

As perdas de energia nos difusores pouco divergentes são devidas principalmente ao atrito do ar nas paredes e à modificação do perfil de velocidades que se processa gradualmente ao longo do difusor.

Segundo Wattendorff, citado em [2] e [9], o coeficiente de perda de carga de um difusor referido às condições de entrada é dado por

$$\zeta = \left(\frac{\lambda}{8 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} + 0{,}6 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right) \left(1 - \frac{A_e^2}{A_s^2} \right) \qquad (7)$$

na qual: α é o ângulo entre geratrizes opostas ou, no caso de o difusor não ser de revolução, o ângulo do cone equivalente,

A_e a área da secção de entrada e

A_s a área da secção de saída do difusor

É condição de aplicabilidade desta fórmula que $\alpha < 10^\circ$ e que o difusor seja axissimétrico ou de forma próxima.

3.2.3 — Cantos

As perdas de energia nos cantos resultam de um mecanismo físico extremamente complexo no qual o atrito do ar com as lâminas directoras e as paredes envolventes e os escoamentos secundários, induzidos pela distribuição não uniforme de velocidade, desempenham papel preponderante [10]. O tipo de lâminas utilizado, as suas dimensões e espaçamento relativos são também factores muito importantes a ter em conta [11].

As lâminas directoras utilizadas neste túnel seguem as recomendações de Winter [11] e deverão em princípio possibilitar a obtenção de coeficientes de perda de carga mais baixos que os sugeridos por Pope [9]. No entanto, o desconhecimento de ensaios sistemáticos relativos a cantos do primeiro tipo leva o autor a utilizar a fórmula de perda de carga proposta por Pope, entrando em consideração com a parcela devida ao atrito do ar nas paredes envolventes. Assim

$$\zeta = 0{,}10 + \frac{4{,}55}{(\log Re_c)^{2{,}58}} + \lambda \frac{L}{D} \qquad (8)$$

na qual: $Re_c = \frac{Uc}{\nu}$ é o número de Reynolds referido à corda de perfil das lâminas directoras e L é o comprimento do troço de conduta que se considera pertencente ao canto.

A expressão (8) é aplicada no cálculo do coeficiente de perda de carga dos cantos 1, 3 e 4. O canto 2 requer tratamento especial porque é atravessado pelo veio de accionamento do ventilador. Este órgão está parcialmente envolvido pela bainha e introduz uma perturbação no escoamento cuja intensidade, em termos de acréscimo do coeficiente de perda de carga, é difícil de quantificar. Por falta de informação específica aceita-se como aplicável o valor de 0,02, estimado por Winter [12] para o caso do túnel descrito em [13].

3.2.4 — Troços convergentes

Num troço cónico ligeiramente convergente ou num colector de túnel aerodinâmico bem projectado não há separação da veia fluida e as perdas são quase exclusivamente devidas ao atrito do ar com as paredes. Se admitirmos que o troço de conduta tem forma axissimétrica, o coeficiente de perda de carga será dado, em primeira aproximação, por

$$\zeta = \lambda_{med} \int_0^L \left(\frac{U}{U_e}\right)^2 \frac{dx}{D}$$

$$= \lambda_{med}\ D_e^4 \int_0^L \frac{dx}{D^5} \qquad (9)$$

nas quais: U é a velocidade média na secção de diâmetro D, à distância x da secção de entrada, e
λ_{med} é um coeficiente de atrito médio, calculado por aplicação de (6).

Se a conduta for cónica a expressão (9) é de integração imediata, obtendo-se:

$$\zeta = \frac{1}{4}\lambda_{med} \frac{L}{D_e - D_s}\left[\left(\frac{D_e}{D_s}\right)^4 - 1\right] \qquad (10)$$

Se, pelo contrário, o perfil da conduta não puder ser expresso sob a forma de uma função algébrica simples, o integral da expressão (12) terá de ser calculado numèricamente. Foi o que se fez no caso presente, obtendo-se para expressão do coeficiente de perda de carga do colector

$$\zeta = 5{,}25\ \lambda_{med} \frac{L}{D_o} \qquad (11)$$

que pouco difere de

$$\zeta = 5{,}12\ \lambda_{med} \frac{L}{D_o}$$

fórmula sugerida por Pope [9].

3.2.5 — Redes

O acréscimo de perda de carga motivado pela interposição de uma rede numa conduta depende essencialmente da geometria da rede e do número de Reynolds do escoamento. Se tivermos interessados apenas em comparar redes do mesmo tipo a sua geometria pode ser representada pelo coeficiente de solidez* s, igual ao cociente entre a área da secção ocupada pelo material da rede e a área total da secção.

Nas condições de utilização que nos interessam presentemente, a influência de Re é moderada e o parâmetro fundamental é s.

Para redes de coeficientes de solidez de valor muito pequeno, os elementos constitutivos da rede preservam a sua individualidade e o coeficiente de perda de carga pode exprimir-se em função de um coeficiente de resistência aerodinâmica C_R, característico da geometria dos elementos referidos. Nestas condições limites o respectivo coeficiente de perda de carga será dado por

$$\zeta = C_R\ s \qquad (13)$$

com C_R função do número de Reynolds.

Se $s > 0{,}1$, C_R perde o significado preciso que lhe atribuimos, passando a depender também de s, como mostram os resultados experimentais de Morgan [12] apresentados na Fig. 8. Nestes ensaios Morgan utilizou redes de malha quadrada

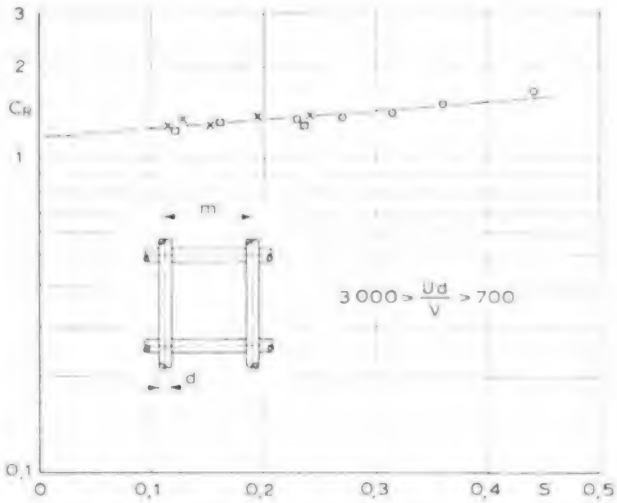


Fig. 8 — Resultados experimentais de Morgan

formadas de arames redondos sobrepostos, afirmando não existir diferença apreciável, do ponto de vista do coeficiente de perda de carga, entre este tipo de redes e as de construção tecida, mais usual em redes finas.

(*) Do inglês «solidity ratio».

A rede de protecção do presente túnel é uma rede de aço electrossoldada. Os arames têm 1,0 mm de diâmetro e a malha é quadrada com 50,8 mm de lado. O coeficiente de solidez é 0,039 e o coeficiente de resistência cerca de 1,2.

A única rede de turbulência instalada nesta primeira fase de exploração do túnel é de latão. Os arames têm 0,46 mm de diâmetro e a malha é quadrada com 3,18 mm de lado, dimensões a que corresponde $s = 0{,}268$. Supondo aplicáveis os resultados da Fig. 8 obtém-se $C_R = 1{,}4$.

3.3.6 — Juntas, fugas, etc.

No cálculo do coeficiente de utilização de um túnel aerodinâmico é recomendado por vários autores [9,13] a majoração do valor de $\sum_i \zeta_i \left(\frac{A_o}{A_i}\right)^2$, multiplicando-o pelo factor 1,1. Este procedimento procura ter em conta as perdas por fugas, por deficiente concordância das peças que constituem a conduta e por outras causas não consideradas ou desconhecidas. Adoptaremos este procedimento que é equivalente à consideração de um coeficiente de perda de carga

$$\zeta_{n-1} = 0{,}1 \sum_{i=o}^{n-2} \zeta_i \left(\frac{A_o}{A_i}\right)^2$$

referido à secção de entrada da câmara de experiências.

3.3 — Características do ventilador

As características de funcionamento do ventilador à velocidade de rotação nominal do motor (900 r.p.m.) estão representadas na Fig. 9. Q designa o caudal correspondente à elevação de pressão $\Delta P'$ nas condições de ensaio do ventilador ($\rho' = 0{,}112$ kgf m^{-4} s^2) e β o respectivo ângulo de abertura das pás.

Para outras condições de funcionamento pouco afastadas das condições de ensaio (η_v = const.), a elevação de pressão, relativa ao mesmo caudal e ao mesmo ângulo de abertura das pás, é proporcional à massa específica respectiva

$$\Delta P = \frac{\rho}{\rho'} \Delta P' \qquad (15)$$

e a potência absorvida pelo ventilador é dada pela expressão

$$N = \frac{\Delta P Q}{\eta_v} \qquad (16)$$

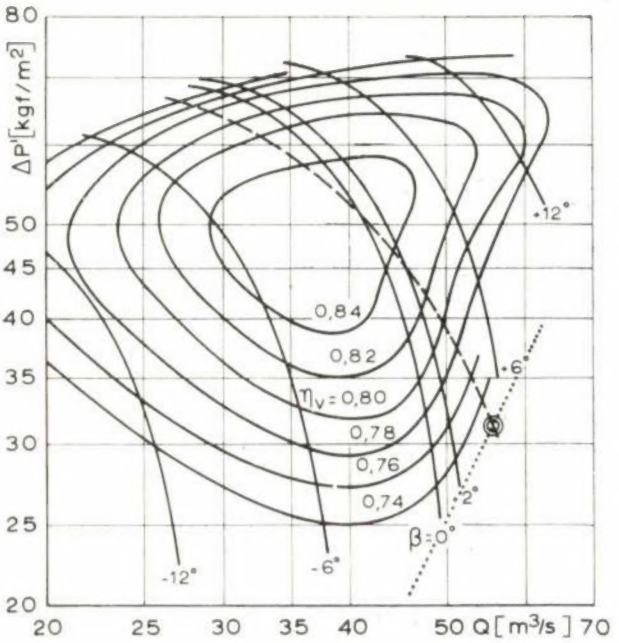


Fig 9 — Diagrama característico do ventilador

3.4 — Cálculo do coeficiente de utilização e da velocidade nominal

Substituindo os valores de ζ_i em (4) obtém-se

$$\chi = 4{,}33\, \eta_v \quad (Re = 3{,}12 \times 10^6) \qquad (17)$$

donde resulta

$$N_n = \frac{\frac{1}{2} \rho A_o U_n^3}{4{,}33\, \eta_v} \qquad (18)$$

Eliminando N_n entre (16) e (18), usando (15) e admitindo que χ tem uma variação desprezável quando a temperatura e a pressão no túnel variam entre os valores correspondentes às condições de ensaio do ventilador e os valores relativos às condições arbitradas em 2, obtém-se

$$\Delta P' = \frac{\rho'}{8{,}66\, A_o^2} Q^2 \qquad (19)$$

expressão analítica representativa do funcionamento do túnel em vazio na vizinhança do ponto nominal. A relação (19) não depende em princípio do ventilador e está representada a ponteado na Fig. 9.

Por outro lado, para a potência nominal do motor

$$\Delta P' = \frac{N_n \, \eta_v}{Q} \qquad (20)$$

na qual η_v está relacionado com Q da forma expressa no diagrama característico do ventilador.

A relação (20) encontra-se representada a tracejado na Fig. 9. O ponto de intercepção da curva a tracejado com a linha ponteada representa o funcionamento do ventilador nas condições nominais do túnel em vazio. A este ponto correspondem $\beta = 5°$, $\eta_v = 0{,}72$ e $\chi = 3{,}12$.

Finalmente a velocidade nominal do túnel, correspondente ao valor do coeficiente de utilização calculado e às condições de pressão e temperatura arbitradas, obtém-se por utilização da expressão (1). O seu valor é 49 m/s.

4 — MEDIÇÕES EFECTUADAS

Os ensaios efectuados tiveram como objectivo principal a determinação experimental das velocidades nominal e máxima do túnel.

A velocidade do ar foi medida com um tubo de Prandtl colocado na zona central da câmara de experiências e ligado a um micromanómetro do tipo Betz.

A potência fornecida ao motor foi calculada a partir dos valores da tensão e da intensidade da corrente nos terminais do dínamo, e a velocidade de rotação do ventilador por leitura de um taquímetro eléctrico. Todos os aparelhos utilizados se encontram permanentemente instalados na mesa de comando do túnel (Fig. 10). Os resultados experimentais são apresentados nas Figs. 11, 12 e 13.

A Fig. 11 representa a velocidade do ar na

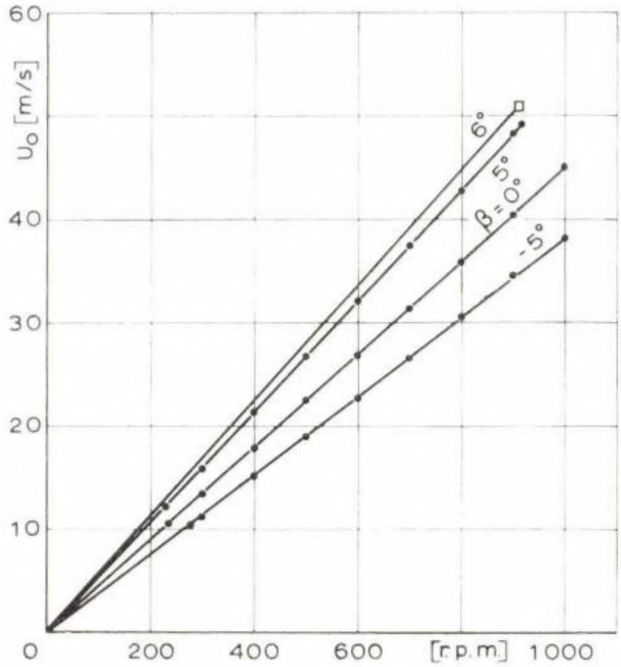


Fig. 11 — Variação de U_0 com a velocidade de rotação e a abertura das pás do ventilador

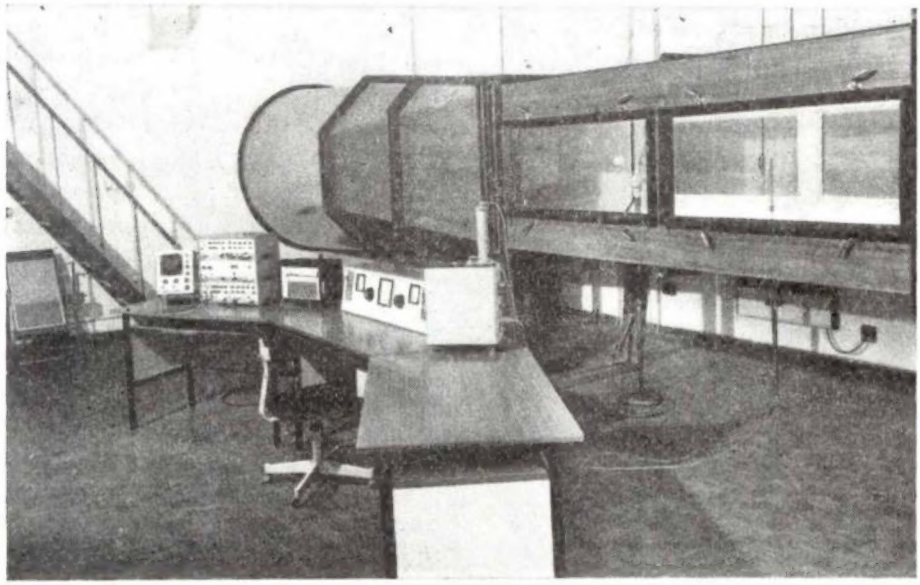


Fig. 10 — Câmara de experiências e mesa de comando do túnel

câmara de experiências em função da velocidade de rotação e do ângulo de abertura das pás do ventilador. Os pontos experimentais agrupam-se perfeitamente ao longo de rectas, mostrando que a influência do número de Reynolds sobre o rendimento do ventilador e sobre o coeficiente de utilização é muito pequena.

A Fig. 12 representa a potência fornecida ao motor em função da velocidade de rotação e da abertura das pás. Adoptou-se para escala do eixo das abcissas uma escala cúbica que torna evidente a diminuição do rendimento do motor para velocidades de rotação inferiores ao valor nominal.

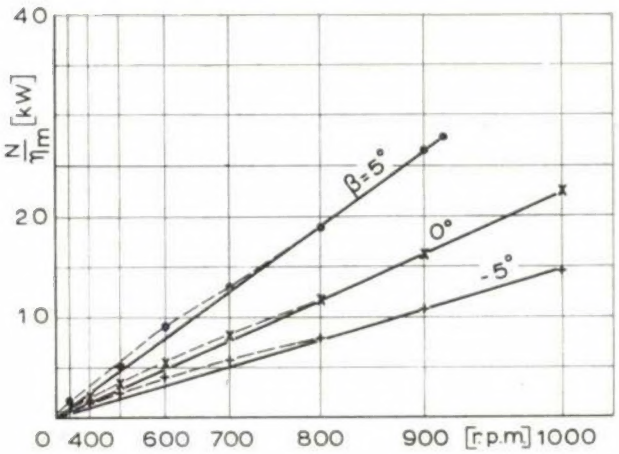


Fig. 12 — Variação de $\frac{N}{\eta_m}$ com a velocidade de rotação e a abertura das pás do ventilador

Finalmente a Fig. 13 representa a variação de

$$\psi = \frac{\eta_m \frac{1}{2} \rho_o A_o U_o^3}{N} \qquad (21)$$

com o número de Reynolds referido à altura da câmara de experiências. Na expressão (21) η_m designa o rendimento do motor. À luz das considerações anteriores o andamento dos pontos experimentais reflecte sobretudo o decréscimo de rendimento do motor.

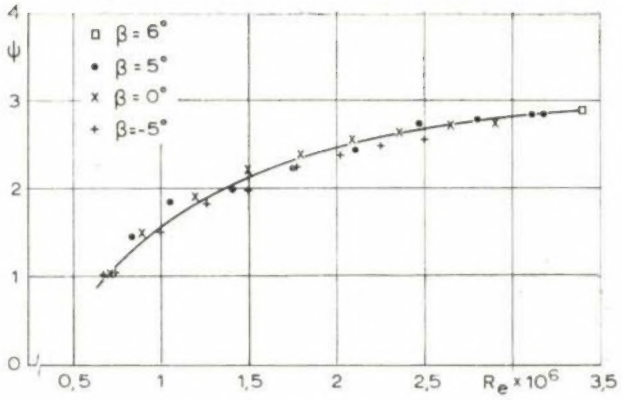


Fig. 13 — Variação de ψ em função do número de Reynolds

5 — DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O valor calculado do coeficiente de utilização coincide com o valor medido se o rendimento nominal do motor de accionamento for 0,91, valor que parece apenas ligeiramente superior ao que seria de esperar, tendo em vista o tipo e dimensões da máquina [14].

O motor aceita sem aquecimento exagerado uma sobrecarga de cerca de 10 %, o que permite obter uma velocidade máxima em vazio ligeiramente superior a 50 m/s (Fig. 11).

O ponto de funcionamento nominal do túnel em vazio situa-se próximo do canto inferior direito do diagrama característico do ventilador, o que permite ensaiar modelos de grande resistência, bastando para o efeito ajustar convenientemente o ângulo de abertura das pás.

A relação de proporcionalidade entre a velocidade de rotação do ventilador e a velocidade do ar na câmara de experiências pode ser explorada em calibrações expeditas de sondas e anemómetros por utilização do taquímetro do túnel aerodinâmico.

NOTICIÁRIO

I Concurso Nacional Philips para jovens cientistas e inventores

O Juri constituído pelos Senhores Prof. Doutor Sebastião e Silva, Dr. Carlos Cacho e Eng°. Luís Vicente, deliberou que para apuramento dos trabalhos apresentados e já seleccionados numa preliminar apreciação, se procedesse à classificação dos mesmos, atribuindo-se uma valorização de 1 a 5, dentro dos seguintes critérios:

1 — Espírito inventivo
2 — Cultura
3 — Maturidade técnica
4 — Originalidade
5 — Utilidade

Segundo o critério indicado, foi estabelecido por unanimidade, a seguinte classificação:

Para a classe dos 12 aos 17 anos:

1.° — José Augusto Legatheaux Martins, de 17 anos, estudante do Liceu D. João de Castro, que apresentou o trabalho com o título «Computador Digital Didáctico Centauro 6».

Para a classe dos 18 aos 26 anos:

1.° — Luís Henrique Martins Borges de Almeida, de 19 anos, estudante do Instituto Superior Técnico, que apresentou o trabalho com o título:
«Computador para Valores Lógicos».

Deliberou mais o Júri, atribuir dois segundos prémios «ex aequo»:

— António Vítor Adragão Anunciada, de 19 anos, estudante do Instituto Superior Técnico, que apresentou o trabalho com o título:
«Comandos Electrónicos para Tornos Revolver».

— Armando da Silva Teixeira, de 21 anos, estudante do Instituto Industrial do Porto, que apresentou o trabalho, com o título:
«Fechadura Electrónica NE 3».

11.ª Exposição Europeia da Máquina-Ferramenta

Realiza-se em Paris, de 23 de Junho a 2 de Julho, a 11.ª Exposição Europeia da Máquina-Ferramenta, promovida pelo Comité Europeu de Cooperação das Indústrias da Máquina-Ferramenta (C.E.C.I.M.C.) e organizada, desta vez, pelo Sindicato dos Construtores Franceses de Máquinas-Ferramentas.

O C.E.C.I.M.O. é uma união das associações industriais dos fabricantes de máquinas-ferramentas de doze países da Europa Ocidental (entre os quais Portugal), que tem por objectivo fomentar a colaboração entre elas na resolução dos problemas que se põem a este importante sector industrial, no processo de desenvolvimento da indústria europeia.

Desde a sua fundação, em 1950, o Comité Europeu levou a efeito 10 exposições de máquinas-ferramentas, em Paris, Hannover, Bruxelas e Milão, e realizará este ano a 11.ª, em Paris, onde se espera poder observar a fantástica evolução que se processou desde a origem destas manifestações, símbolos da potência da indústria europeia da máquina-ferramenta.

Portugal, que está filiado no Comité Europeu através do CIMAF (Centro de Cooperação dos Industriais de Máquinas-Ferramentas), tem participado nas Exposições Europeias desde 1963, em Milão, Bruxelas e Hannover, e estará presente também nesta, onde exporá tornos paralelos, máquinas de furar de coluna e bancada, máquinas de furar radiais, guilhotinas e quinadoras.

Concurso de ideias Bayer dotado com 100.000.-marcos

A Bayer fixou prémios num valor total de 100.000.-marcos para um concurso técnico internacional. O prémio principal está dotado com 50.000 marcos. O objectivo deste concurso de ideias que é dirigido principalmente aos arquitectos, desenhadores e engenheiros, é sugerir novas aplicações para o «caoutchouc» cloropreno de Bayer Baypren.

As condições do concurso podem ser pedidas a Bayer, «Ideenwettbwerd» 5159 Turnich, Postfach 12. As propostas terão que chegar a Leverkusen até ao dia 1 de Outubro de 1969.